

CARLOS ALBERTO PESSOA MELLO GALDINO

**DETERMINAÇÃO DE DESNÍVEIS POR GPS PARA
APLICAÇÕES EM ENGENHARIA ATRAVÉS DA
DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE UM
GEÓIDE LOCAL**

Dissertação apresentada como requisito
parcial à obtenção do grau de Mestre.
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geo-
désicas, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Günter Seeber

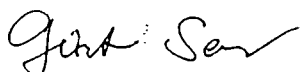
RECIFE
1996

**DETERMINAÇÃO DE DESNÍVEIS POR GPS PARA
APLICAÇÕES NA ENGENHARIA ATRAVÉS DA
DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE UM GEÓIDE LOCAL**

POR

CARLOS ALBERTO PESSOA MELLO GALDINO

Dissertação aprovada como requisito parcial do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:



Prof. Dr. GUNTER SEEBER - Orientador



Prof. Dr. MILTON DE AZEVEDO CAMPOS - Membro



Profa. Dra. VERÔNICA MARIA COSTA ROMÃO - Membro

a Leandro, in memoriam e

Olímpia

AGRADECIMENTOS

O autor externa seus agradecimentos às seguintes pessoas e instituições:

- À CAPES - PICD, pela bolsa de estudo concedida durante o período de realização do curso;
- Ao Departamento de Engenharia Cartográfica pela liberação quando da aquisição dos créditos e sessão dos equipamentos e laboratórios;
- Ao Prof. Dr. Ing. Günter Seeber do Institut Für Erdmessung da Universidade de Hannover - Alemanha, pelo apoio e orientação indispensáveis ao desenvolvimento desta dissertação;
- Ao Prof. Dr. Denizar Blitzkow da Escola Politécnica - Universidade de São Paulo, sempre presente nas consultas efetuadas;
- Àqueles colegas do Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE, que apoiaram e incentivaram para conclusão deste trabalho;
- Particularmente, aos engenheiros Marconi Antão e Jorge Dirceu pela colaboração nas atividades de campo e escritório e Cláudio Márcio consultor para assuntos de informática;
- E a Graça, sempre presente na hora certa.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	I
LISTA DE FIGURAS	III
LISTA DE QUADROS	V
RESUMO	VI
ABSTRACT	VII
1 INTRODUÇÃO	1
2 PLANEJAMENTO E RECONHECIMENTO	6
2.1 Escolha da Área	6
2.2 Geometria e Quantidade dos RN's Escolhidos	7
2.3 Metodologia e Condições para Observação	8
2.4 Planejamento da Campanha, Equipamento, Pessoal e custos	8
2.5 Reconhecimento	9
3 RASTREIO	12
3.1 Pontos Observados e Método Utilizado	12
3.1.1 Estações Excêntricas e Ocupação de Marcos Parcialmente Destruidos	13
4 MEDIÇÕES E CÁLCULO GPS	18
4.1 Síntese Teórica das Medições e Cálculos GPS	18
4.1.1 Conceito de Medidas GPS	18
4.1.2 Processo de Medição das Fases do Código e da Portadora	24
4.1.2.1 Utilizando Fase do Código	24
4.1.2.2 Utilizando Fase da Portadora	25
4.1.3 - Posicionamento GPS	27
4.2 Cálculos	31
5 DETERMINAÇÃO DO GEÓIDE LOCAL. A SUPERFÍCIE DE REFERÊNCIA	40
5.1 Síntese	40
5.2 Determinação da Ondulação do Geóide Local a partir do geóide global	41
5.2.1 Transformação das Alturas GPS no WGS-84 para SAD-69	41
5.2.2 Interpolação do Geóide Global	43
5.2.3 Determinação da Ondulação do Geóide Local	48
5.3 Determinação dos Parâmetros Definidores do "Nloc" para qualquer Ponto da Área por M.M.Q.	52
5.3.1 Determinação dos Parâmetros Definidores de "NTOTAL" como um Plano Inclinado	58
5.4 Investigação do Comportamento do Geóide Global com Local para Distâncias Curtas	65

6	DETERMINAÇÃO DAS ALTITUDES E DIFERENÇAS DE NÍVEL	68
6.1	Metodologia para Determinação da altitude H e da Diferença de Nível Considerando “Nloc”	69
6.2	Metodologia para Determinação da Altitude e diferença de Nível sem as Considerações dos Argumentos Ngl e Nloc	76
6.2.1	Análise da Precisão	77
6.3	Considerações Relevantes	79
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	81
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
	ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

1.1	SUPERFÍCIES DE REFERÊNCIA	02
2.1	REDE DE NIVELAMENTO DE PERNAMBUCO	06
2.2	TIPOS DE DESIGN	
	(a) MALHA	
	(b) POLÍGONO	08
2.3	RN EM BOM ESTADO	11
2.4	RN DESTRUÍDO	11
3.1	ESTAÇÃO EXCÊNTRICA	14
3.2	FORMA GABARITO	15
3.3	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS PONTOS OBSERVADOS	17
4.1	SINAIS GPS	
	(A) sinais GPS-portadora L_1 L_2 (fonte: Andrade, 1988)	
	(B) sinais GPS modulado por um código	19
4.2	OBSERVÁVEIS (fonte: Seeber, 1993)	
	(a) por códigos	
	(b) por doppler integrado	
	(c) por diferença de fase da portadora	
	(d) por medições interferométricas	21
4.3	SISTEMA CARTESIANO GEOCÊNTRICO (fonte: Romão, 1995)	22
4.4	PROPAGAÇÃO DOS SINAIS POR FASE DO CÓDIGO E DA PORTADORA (fonte: Seeber, 1994)	23
4.5	PROCESSO DE MEDIÇÃO POR CÓDIGO (Andrade, 1988)	25
4.6	MEDIÇÃO PELA FASE DA PORTADORA fonte: Seeber, 1994)	26
4.7	AMBIGÜIDADE- N -	26
4.8	SIMPLES DIFERENÇA (fonte: King, 1985)	28
4.9	DUPLA DIFERENÇA (fonte: King, 1985)	29
4.10	TRIPLA DIFERENÇA (fonte: King, 1985)	30
5.1	MAPA GEOIDAL DO BRASIL -1992 (fonte: IBGE, 1993)	45

5.2	MAPA GEOIDAL DO BRASIL -92 (ÁREA DO PROJETO)	47
5.3	VERTICAL E NORMAL	48
5.4	ONDULAÇÃO GEOIDAL GLOBAL E LOCAL	48
5.5	MAPA DAS ISOLINHAS DO GEÓIDE LOCAL	50
5.6	MAPA DAS ISOLINHAS DO GEÓIDE TOTAL ($N = h_{\text{SAD-69}} - H_{\text{IBGE}}$)	51
5.7	DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DA APROXIMAÇÃO DO GEÓIDE LOCAL (unidade em cm)	56
5.8	DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DA APROXIMAÇÃO DA ONDULAÇÃO DO GEÓIDE TOTAL (unidade em cm)	61
5.9	MAPA DAS ISOLINHAS - MELHOR APROXIMAÇÃO DO GEÓIDE LOCAL DE REFERÊNCIA COMO UM PLANO (unidade em metros)	63
5.10	MAPA DAS ISOLINHAS - MELHOR APROXIMAÇÃO DO GEÓIDE TOTAL DE REFERÊNCIA COMO UM PLANO INCLINADO (unidade em metro)	64
5.11	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS ONDULAÇÕES GLOBAL E LOCAL, NO SENTIDO OESTE-LESTE	66
5.12	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS ONDULAÇÕES DO GEÓIDE GLOBAL E LOCAL, NO SENTIDO NORTE-SUL	66
6.1	SUPERFÍCIES DE REFERÊNCIA	69

LISTA DE QUADROS

4.1	SINAIS GPS	18
4.2	SOLUÇÕES	33
4.3	DESVIO-PADRÃO DE h	37
4.4	COORDENADAS DOS VÉRTICES	37
5.1	TRANSFORMAÇÃO DE COORDENADAS WGS-84 PARA SAD-69	43
5.2	ONDULAÇÕES GEOIDAIIS GLOBAIS INTERPOLADAS	46
5.3	ONDULAÇÕES GEOIDAIIS LOCAIS	49
5.4	RESÍDUOS DOS VALORES OBSERVADOS DA APROXIMAÇÃO DO GEÓIDE LOCAL ONDULAÇÃO COM GPS E NIVELAMENTO	55
5.5	RESÍDUOS DOS VALORES OBSERVADOS DA APROXIMAÇÃO DO GEÓIDE TOTAL	60
6.1	IDENTIFICAÇÃO DAS ESTAÇÕES 498B E 497J	71
6.2	CÁLCULO DA ALTITUDE USANDO OS PARÂMETROS DO GEÓIDE LOCAL	72
6.3	COMPARAÇÃO ENTRE “H” CALCULADA E “H” DO IBGE	73
6.4	CÁLCULO DA ALTITUDE COM OS PARÂMETROS DO GEÓIDE TOTAL	76
6.5	COMPARAÇÃO ENTRE “H” CALCULADA E “H” DO IBGE CONSIDERANDO N_{total}	77

RESUMO

Com a evolução tecnológica, o franco desenvolvimento da Geodésia Satelital, a redução dos custos de equipamentos, de custos operacionais, da rapidez no fornecimento dos resultados e precisão compatível, o GPS ganhou definitivamente seu espaço na área de levantamentos geodésicos e topográficos tradicionais.

Dentro desta ótica, o nosso trabalho procura contribuir com informações relativas ao reconhecimento, rastreamento, cálculo e ajustamento de observações GPS sobre Referências de Nível (RN's), objetivando a determinação do modelo geoidal local, cuja utilização propõe técnicas de determinação de altitudes ortométricas ou diferenças de alturas por GPS e que possam ser aplicadas na engenharia.

Abstract

With the technological evolution, the development of Satellite Geodesy, the reduction of equipment and operational cost, as well as the rapidness of results and an accuracy comparable to classical techniques, the GPS definitely will take its space in geodetic work and in classical topography.

From this point of view the presented thesis gives information on reconnaissance, observation techniques, processing and adjustment of GPS observation on levelling marks (RN) from the National Levelling Network in Pernambuco. The objective of this investigation is to determine a local geoidal model to be utilized in the technical determination of orthometric heights or height differences by GPS for the use in Engineering projects.

1 INTRODUÇÃO

A maioria das operações de engenharia que envolvem alturas, se utilizam da altitude ou diferença de altitude ortométrica, podem ser conduzidas hoje de forma eficaz, precisa, rápida e econômica, utilizando-se da moderna tecnologia satelital GPS. Com o advento da Geodésia por satélite, a obtenção dessas altitudes podem ser verificadas indiretamente, desde que se conheça a ondulação do geóide. Assim, com a altura elipsoidal obtida via satélite - GPS por exemplo - e a altura geoidal, por simples subtração obtém-se a altitude ou diferença de altitude ortométrica do lugar.

Sejam dadas três superfícies distintas (fig. 1.1):

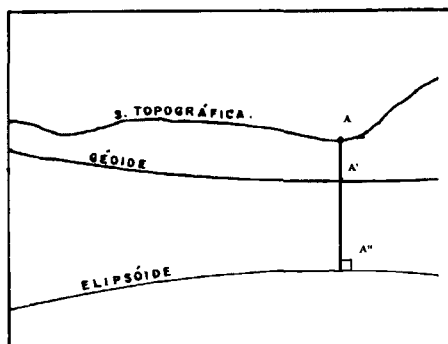
Superfície Topográfica - é a superfície física do Globo, palco das operações geodésicas (Gemael,1981), onde são efetuadas medições geométricas - lineares e angulares -, determinações astronômicas, gravimétricas e satelitais. setenta e cinco por cento da sua massa é líquida e vinte e cinco é sólida. Possui altitudes que variam de -9.000m nas fossas de Java e +7000m no Himalaia.

Geóide, Superfície Geopotencial ou Superfície Geoidal - é um geope particular - superfície equipotencial do campo da gravidade, onde a vertical do lugar é tangente às linhas de força desse campo - como melhor aproximação, pode ser definido como sendo a superfície dos mares supostos em repouso, prolongando-se através dos continentes. As variações de alturas geoidais, comparadas com as altitudes da superfície topográfica, são mínimas, da ordem de 100m.

Superfície elipsoidal, Geométrica ou Matemática - é sobre esta superfície que são efetuados os cálculos geodésicos (Gemael,1981), é definida como um elipsóide de revolução em torno do seu eixo menor, cujos parâmetros são definidos de acordo com a

conveniência de cada país ou continente. A tendência atual é para homogeneização ou globalização desta superfície.

FIGURA 1.1: SUPERFÍCIES DE REFERÊNCIA



sendo:

$$AA'' = AA' + A'A'' \quad \text{ou} \quad h = H + N$$

$AA' = H \Rightarrow$ altitude ortométrica - distância do ponto A da superfície física ao geóide contada da vertical do lugar ao geóide;

$AA'' = h \Rightarrow$ altura elipsoidal - distância do ponto A da superfície física ao modelo matemático considerado - elipsóide de referência;

$A'A'' = N \Rightarrow$ ondulação do geóide- distância do projeção do ponto A sobre o geóide ao elipsóide de referência.

As alturas geoidais obtidas indiretamente por satélite podem contribuir fortemente na determinação de uma superfície geoidal local. Para obtenção dessas alturas, basta efetuar observações GPS sobre pontos de uma rede de nivelamento de precisão e subtrair as suas respectivas altitudes ortométricas (Blitzkow,1992). A densificação das alturas geoidais resultantes podem gerar uma superfície geoidal local, cujo resultado fornece uma ferramenta bastante útil nas aplicações de engenharia que envolvem determinação de altitudes ortométricas ou diferenças de alturas.

É sabido pela bibliografia técnica (Filho,1993) e científica (Netto,1993), que para pequenas áreas limitadas da superfície terrestre, o uso do GPS para determinação de diferenças de nível, usado adequadamente, pode ser substituído, na maioria dos casos, pelo nivelamento geométrico clássico, obtendo precisões de $8\text{mm}\sqrt{K}$ a $12\text{mm}\sqrt{K}$ (K em quilometro) (Netto,1993). O nosso trabalho mostra ser muito importante, principalmente para àquelas regiões que não possuem uma malha nivelamento, e tem por objetivo efetuar essa investigação numa área relativamente muito maior, na ordem de 18.000 Km^2 , com o auxílio de uma superfície de referência auxiliar através da determinação dos parâmetros de um geóide local, empregando medidas GPS sôbre referências de níveis - RN's - para obtenção de altitudes ou diferenças de alturas aplicadas em projetos de engenharia específicos para área considerada. E, também, mostrar ao usuário um procedimento passo-a-passo na determinação dos parâmetros de uma superfície geoidal de referência para uma área restrita, como usar esses parâmetros e indicar suas limitações.

O presente trabalho descreve no Capítulo 2 a justificativa para escolha da área, o “design” do polígono, a geometria e a densidade de referências de nível - RN's - escolhidas, a metodologia, considerações e condições para observação GPS, a duração da campanha de campo, o equipamento utilizado, pessoal e custos envolvidos, descreve também procedimentos para reconhecimento dos pontos envolvidos no Projeto e os Órgãos pertinentes. Em anexo apresentamos o modelo do formulário elaborado para o cadastramento de cada estação reconhecida. Nestes formulários estão contidos a descrição do ponto, estado de conservação, itinerário atualizado e coordenadas aproximadas, e estarão disponíveis ao usuário em nosso Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco, endereço eletrônico - galdino@npd.ufpe.br.

No Capítulo 3 é descrito o modo e o método de levantamento em função do equipamento disponível, mostra as intempéries ocorridas para realização das observações em alguns pontos, rastreo em estações excêntricas e reconstituição fictícia de marcos semi destruídos.

No Capítulo 4 é apresentada primeiramente uma síntese teórica do cálculo GPS, iniciando pelo conceito básico, passando pelos processos de medição com fases do código e da portadora, modo de medição - conceito - , e na conclusão do capítulo descrevemos os cálculos efetuados nas diversas combinações lineares da portadora, os resultados obtidos e a análise desses resultados e finalmente o respectivo ajustamento.

O Capítulo 5 iniciamos com um breve relato sobre geodésia clássica e sobre geodésia satelital, estritamente relativo a 3ª coordenada - altitude - e a interação entre ambas. Relatamos sobre o mapa geoidal do Brasil. Num outro tópico descrevemos as determinações das ondulações geoidais globais e locais nas RN's ocupadas por GPS, a determinação via M.M.Q dos parâmetros definidores da aproximação da ondulação do geóide local para qualquer ponto da área de estudo, e também uma investigação do comportamento das ondulações geoidais global e local para pequenas distâncias - na direção norte-sul e na direção leste-oeste - e apresentamos esses resultados.

No Capítulo 6 começamos por determinar a altitude ortométrica - H - utilizando as aproximações das ondulações geoidais global e local, as alturas elipsóidais - h - e a altitude ortométrica de um ponto de referência. Em seguida investigamos o comportamento da altitude H de um ponto fazendo variar a distância ao ponto de referência, apresentando no final um quadro com os diversos valores de H encontrados. Continuamos nossa investigação determinando diferenças de altura utilizando apenas as aproximações das ondulações geoidais obtidas através dos parâmetros A, B, C cuja matriz dos valores observados "N" são as simples

diferenças entre as alturas elipsoidais obtidas por GPS e as altitudes ortométricas das respectivas estações que compõem o polígono. Também foi investigado o comportamento da altitude e diferença de altura em função da distância ao ponto de referência, e, finalmente comparamos os resultados apresentados.

No Capítulo 7 apresentamos aplicabilidade dos objetivos, as recomendações e suas restrições.

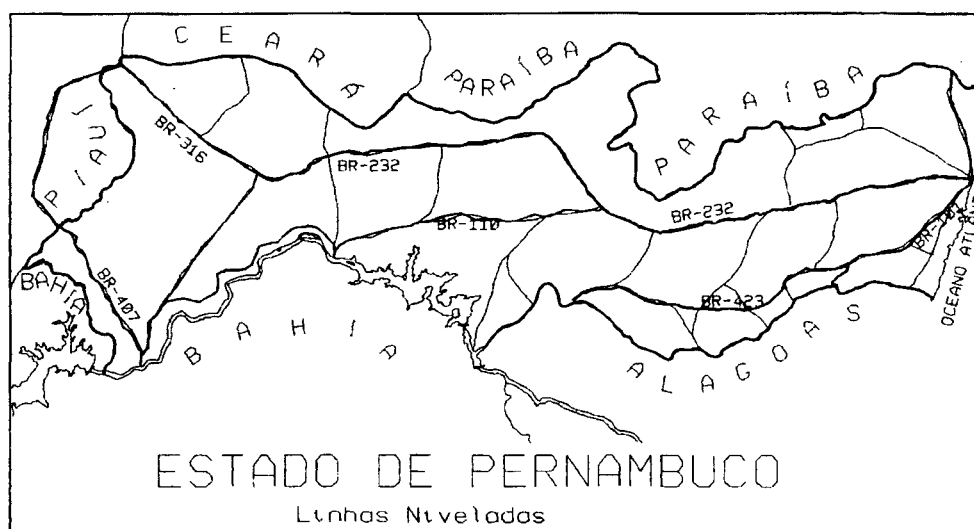
2. PLANEJAMENTO E RECONHECIMENTO

2.1 Escolha da Área

Pelo franco desenvolvimento sócio-econômico do oeste pernambucano, principalmente no que concerne a implantação de adutoras, linhas de transmissão, grandes projetos de irrigação e pela existência de um circuito de nivelamento de alta precisão do IBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - abrangendo toda a região, essa escolha foi feita visando realmente utilizar o objeto final da pesquisa em projetos de engenharia concernentes.

A área em estudo de aproximadamente 19.000Km² fica compreendida entre os paralelos 7°30' e 9°30' sul e entre os meridianos 39°30' e 41°30' oeste e a aproximadamente 700Km do litoral pernambucano.(fig. 2.1)

FIGURA 2.1: REDE DE NIVELAMENTO DE PERNAMBUCO



Nessa região o "Mapa Geoidal do Brasil - 1992" (Blitzkow, 1992) apresenta forte variação nas curvas de nível de altura geoidal na direção leste-oeste e praticamente sem variação na direção norte-sul - condição que também influenciou na escolha da área, pois é também objeto de investigação nos Capítulos 5 e 6. O relevo é suavemente ondulado, no

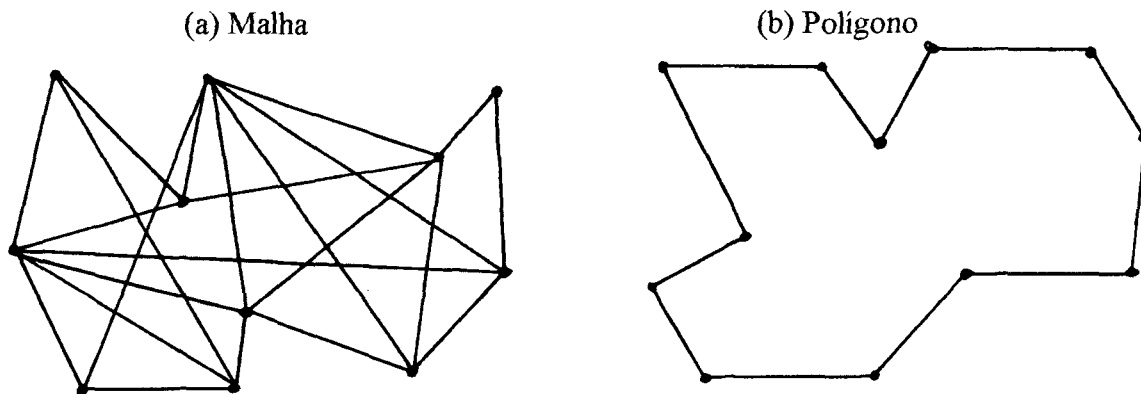
entanto apresenta abrupto desnível de aproximadamente 300m na direção N-S nos limites da chapada do Araripe com o vale do São Francisco. A vegetação predominante é a caatinga, e o clima é quente seco na chapada e parte do vale, e quente úmido nas margens do rio São Francisco. A corrida desenvolvimentista na região se deu a partir do fim da década de 70 com a proliferação das minas de gesso - gipsita - na região do Araripe e a implantação de grandes projetos de irrigação no vale do São Francisco.

2.2 Geometria e Quantidade de RN's Escolhidas

Foi planejado efetuar medições sobre as RN's eqüidistantes em torno de 30Km num polígono fechado de aproximadamente 600Km, das quais seriam escolhidas aquelas que melhor satisfizessem as condições de integridade e de rastreo verificadas no reconhecimento, ou seja, marcos intactos, situados a céu aberto considerando o horizonte de observação acima de 15°, de fácil acesso e, também, efetuar medições sobre alguns pontos da Rede Fundamental GPS do Estado de Pernambuco (Romão,1995).

O "design" da distribuição dos pontos assemelha-se a um losango, cujas ocupações para medição GPS foram efetuadas de tal maneira que de cada estação sejam determinadas duas linhas de base, formando um polígono fechado (fig.2.2a). A geometria desse polígono tem rigidez fraca (Trimble,1990) quando comparado com um polígono tipo "malha" (fig.2.2b), onde a estrutura é composta de várias figuras que, conseqüentemente, exige mais de uma ocupação sobre as estações, aumentando assim os graus de liberdade que é indicativo de melhores resultados no ajustamento. A opção pela primeira se deu devido ao baixo custo, rapidez na implementação de campo, quando comparada com a tipo "malha", e também para investigar até onde se pode usar essa estrutura sem prejuízo do objetivo técnico.

FIGURA 2.2: TIPOS DE DESIGN



2.3 Metodologia e Condições para Observação

- Rastreio no modo estático;
- De cada estação de observação foram determinada pelo menos duas linhas de base até fechar o circuito;
- O tempo de rastreio de aproximadamente uma hora;
- Geometria da constelação dos satélites ótima - PDOP até 5.0;
- Os melhores períodos do dia para observação - extraídos do software TRIMPLAN;
- Quantidade mínima de satélites: 3 (para não fechar os arquivos caso a quantidade de satélite visíveis seja menor que 3);
- Intervalo de épocas de 15 segundos e
- Horizonte de observação $> 15^\circ$.

2.4 Planejamento da Campanha, Equipamento, Pessoal e Custos

- Duração da campanha: 10 dias

- Equipamento:
 - . Dois receptores TRIMBLE 4000 SST, com acessórios;
 - . Um receptor de navegação GPS40 GARMIN, com precisão nominal de 30m;
 - . Um micro computador 386 LAPTOP TOSHIBA T5200-100 de 12Mb de AM e 100Mb de winchester;
 - . Um nível automático com precisão subcentimétrica;
 - . Mapas rodoviários de Pernambuco e Piauí;
 - . Publicações do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), da CODEVASF(Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco) e da CELPE (Companhia Energética de Pernambuco), contendo a descrição, localização e itinerário das estações a serem reconhecidas;
 - . Um micro computador 486DX2 de 8Mb de RAM e 1Giga de winchester e clock de 100mhz;
 - . Software da TRIMBLE (TRIMVEC-PLUS e TRIMNET);
 - . Um ploter HP7570A .
- Pessoal: três técnicos;
- Transporte: duas viaturas com motoristas e
- Custo estimado: US\$ 4.000,00

2.5 Reconhecimento

Para o reconhecimento das RN's do IBGE na área de estudo foram utilizados os mapas rodoviários de Pernambuco e Piauí, o receptor GPS de mão - GPS40 GARMIN - e publicações do IBGE que contém a rede de nivelamento, cuja implantação foi efetuada nas

décadas de 50, 60 e 70; nelas estão descritas o itinerário, a localização - normalmente implantadas sobre pontes, bueiros, margens de estradas, porteiras de fazendas, Igrejas, etc. - e referenciadas a objetos notáveis - rios, fazendas, povoados, Igrejas, etc. -. Houve dificuldade para localização de alguns pontos, pois passados aproximadamente 30 anos, muito se modificou na região, quer pela ação do homem - construção de novas estradas ou mudança do traçado de outras e em alguns casos transformadas em plantações, reconstrução de Igrejas, desativação de ferrovias, causando sua deterioração, vandalismo, etc -, quer por causas naturais - o avanço das águas do rio São Francisco, erosão, etc.

Com relação aos pontos de responsabilidade da CODEVASF e CELPE, estes não apresentaram dificuldades nas suas localizações, pois além de terem sido implantados mais recentemente, a maioria deles está em local protegido - na área interna das subestações da Celpe, de colégios, quartéis, hospitais, etc. - e, obviamente nem todos se prestam para rastrear com GPS, pois quando da sua implantação não se tinha a perspectiva dessa necessidade.

Com a descrição da distância de cada RN referida a um objeto notável, um azimuth aproximado obtido do mapa da região e utilizando o GPS de navegação para orientação, considerando a precisão do rastreador (30m), alcançou-se resultados satisfatórios na localização de alguns pontos. Sendo importante também as informações obtidas com a população local, principalmente àqueles moradores mais antigos, que conhecem bem a região e passam informações precisas sobre as antigas rodovias e as mudanças ocorridas no seu traçado e, até outras informações divergentes daquelas referenciadas nas descrições das respectivas publicações.

No oeste pernambucano e extremo leste do Piauí, foram localizadas 27 RN's do IBGE, 6 pontos da CELPE, 3 RN's da Companhia Cruzeiro do Sul e 1 RN do INCRA. Para nosso projeto interessava apenas àquelas com equidistância de aproximadamente 30Km. Em

cada RN localizada foram determinadas as coordenadas geodésicas, através do GPS de navegação, uma nova descrição de itinerário e localização, observando-se as modificações temporais ocorridas em relação àquelas originais descritas nas publicações do respectivo órgão, bem como as condições de acesso e integridade dos marcos, visando posterior ocupação para as observação GPS.

No (anexo 8.1) apresentamos modelo de formulário com a descrição do ponto, condições de integridade, localização e itinerário atualizados, a altitude ortométrica e as coordenadas GPS aproximadas, que estão disponíveis aos interessados, conforme exposto no capítulo 1.

Algumas das RN's encontradas estavam parcialmente destruídas, sem a chapa metálica ou quebradas, sendo identificadas pela inscrição lateral no marco e/ou a descrição na publicação do respectivo órgão. As que se apresentaram em bom estado de conservação serviram como modelo para confecção de um gabarito de correção daqueles marcos parcialmente destruídos (figuras 2.3 e 2.4).

Próximo às localidades que tiveram acentuada expansão urbana nos últimos anos com implantação de diferentes vias de acesso, além da dificuldade na localização dos marcos, verificou-se também alto índice de destruição - ex.: Petrolina, Lagoa Grande, Santa Maria da Boa Vista, Araripina, Ouricuri, entre outras.

Fig. 2.3 RN em bom estado



Fig. 2.4 RN destruído



3 RASTREIO

Devido aos poucos recursos financeiros disponíveis, a execução dos trabalhos não obedeceu a infra-estrutura planejada para as atividades de campo, contando apenas com um automóvel (sem motorista) para locomoção, três engenheiros e US\$2000 para executar as mais variadas funções. Além do desgaste físico devido às múltiplas atividades desenvolvidas por cada pessoa e os intempéries meteorológicas por ser época de chuvas na região, a campanha foi desenvolvida conforme o planejamento.

3.1 Pontos Observados e Método Utilizado

Os pontos escolhidos para rastreamento foram aqueles que melhor satisfizeram as condições do planejamento - mantendo o "design", geometria e equidistância entre as estações de observação. Para atender a esses requisitos houve necessidade de efetuar algumas medições com estações excêntricas, a fim de conseguir horizonte de observação e evitar "multipath", conseqüentemente havendo a necessidade de transportar a cota por nivelamento geométrico, cuja diferença de nível determinada foi inserida quando da medida de altura da antena no momento da observação.

- A ocupação das estações se deu a partir do vértice 335I de tal maneira que de cada ponto se determinou pelo menos duas linhas de base, alternando os receptores, no modo salto-de-rã (transverso) até fechar o circuito no ponto inicial. Nas estações onde eram determinadas mais de duas linhas de base, as que não faziam parte do polígono fechado se prestaram para estudos de testes e simulações;
- O tempo de rastreamento de aproximadamente uma hora;

- Horizonte de observação superior a 15°;
- A identidade de cada estação no receptor, formada pelos quatro últimos dígitos do nome original do ponto;

P.ex.: RN-1108X tem identidade GPS de 108X.

- Coordenadas iniciais da estação PTU_ da Rede Fundamental GPS de Pernambuco.

$$\varphi = -09^{\circ} 24' 03,21543'' \pm 0.0098''$$

$$\lambda = -40^{\circ} 30' 21,51738'' \pm 0.0352''$$

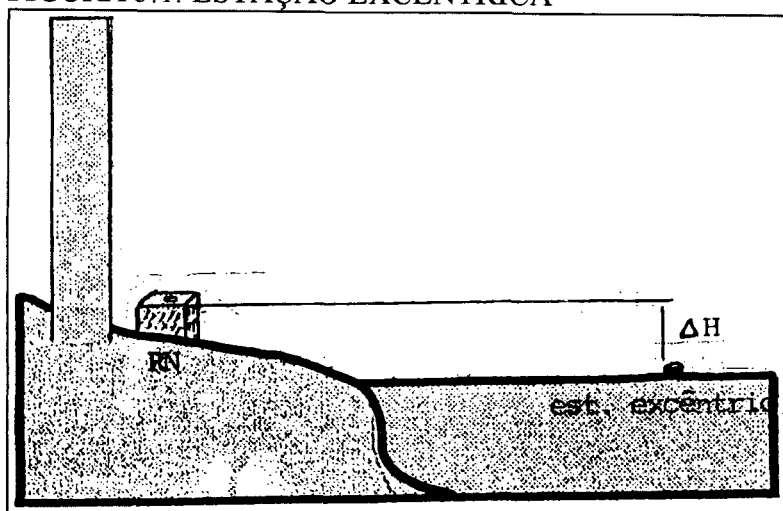
$$h = 354,21\text{m} \pm 0,028\text{m}$$

3.1.1 Estações Excêntricas e Ocupação de Marcos Parcialmente Destruídos

Por exemplo: estação 335I - situado no pé direito da catedral de Petrolina - o ponto foi escolhido devido ao alto índice de destruição de RN's na área urbana, consequentemente sem opção de escolha de um marco que satisfizesse as condições do planejamento - com relação ao horizonte de observação. Sendo assim, para evitar "multipath" durante as medições, optamos pela estação excêntrica. Exigindo desta maneira a execução de um nivelamento geométrico entre a RN e a referida estação.

Sem considerar a variação na ondulação do geóide para uma distância de $\pm 20\text{m}$, assumimos as coordenadas planimétricas da estação excêntrica como sendo as da RN 335I e, também transportamos para aquela a diferença de nível encontrada entre as duas. Uma maneira prática de inserir esse desnível no trabalho foi tomando valor médio dos resultados do nivelamento geométrico - 91,57cm - e subtraído da medida da altura da antena quando do momento do rastreamento naquela estação, Assim, para as medições GPS tudo ocorreu como se a RN 335I estivesse na estação excêntrica, inclusive sua altitude ortométrica.

FIGURA 3.1: ESTAÇÃO EXCÊNTRICA



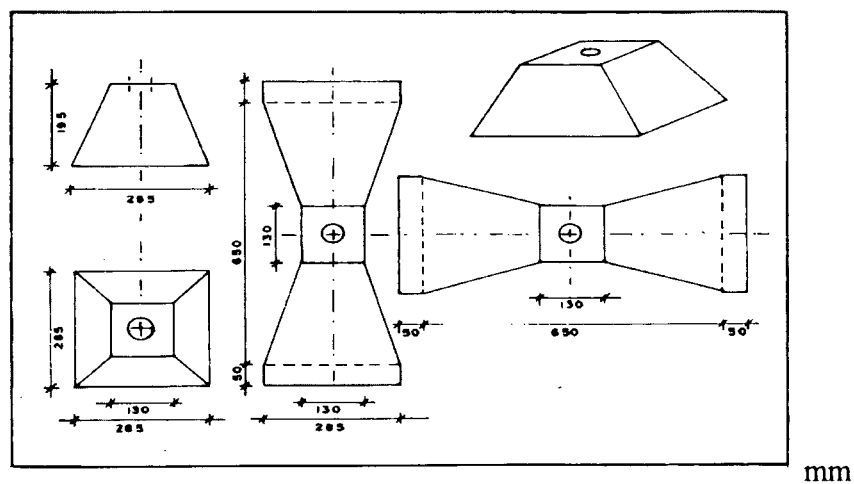
As referências de nível observadas através de estações excêntricas foram:

- 336B
- 335I
- 497J
- 498B

Pelo mesmo motivo e também para satisfazer a condição de equidistância e geometria constantes no projeto foi necessário rastrear algumas RN's parcialmente destruídas. Nas publicações dos Órgãos pertinentes constam a relação das altitudes das referências de nível e alguns desses pontos são chapas metálicas cravados sobre marcos de concreto troncopiramidal quadrilátero. A partir da medida das dimensões de vários marcos intactos do mesmo circuito - o IBGE, por exemplo, apresenta as linhas de nivelamento por circuito, um ou mais circuitos são objetos de uma mesma campanha de nivelamento -, e com a média dessas dimensões, para àquele circuito, confeccionou-se uma forma-gabarito (fig. 3.2) de papelão que no momento da observação era vestida no marco semi-destruído e em seguida tomadas as medidas da altura da antena. Comparamos esse processo, vestindo um marco intacto com o gabarito, e a diferença

obtida na leitura da altura da antena variou de 2 a 4mm. No entanto, vale ressaltar que pela robustez da estrutura, protuberância da chapa metálica, retoques do acabamento da alvenaria e espessura do papelão, ao vestir um marco intacto surgem espaços vazios, causando diferença na leitura na medição da altura da antena. Mas como pode ser visto, tal diferença é absorvida pelo próprio ruído do receptor e objetivo do nosso trabalho.

FIGURA 3.2: FORMA GABARITO



As estações observadas utilizando gabarito foram:

- 594M
- 593V
- 596T

Relação dos Pontos Rastreados:

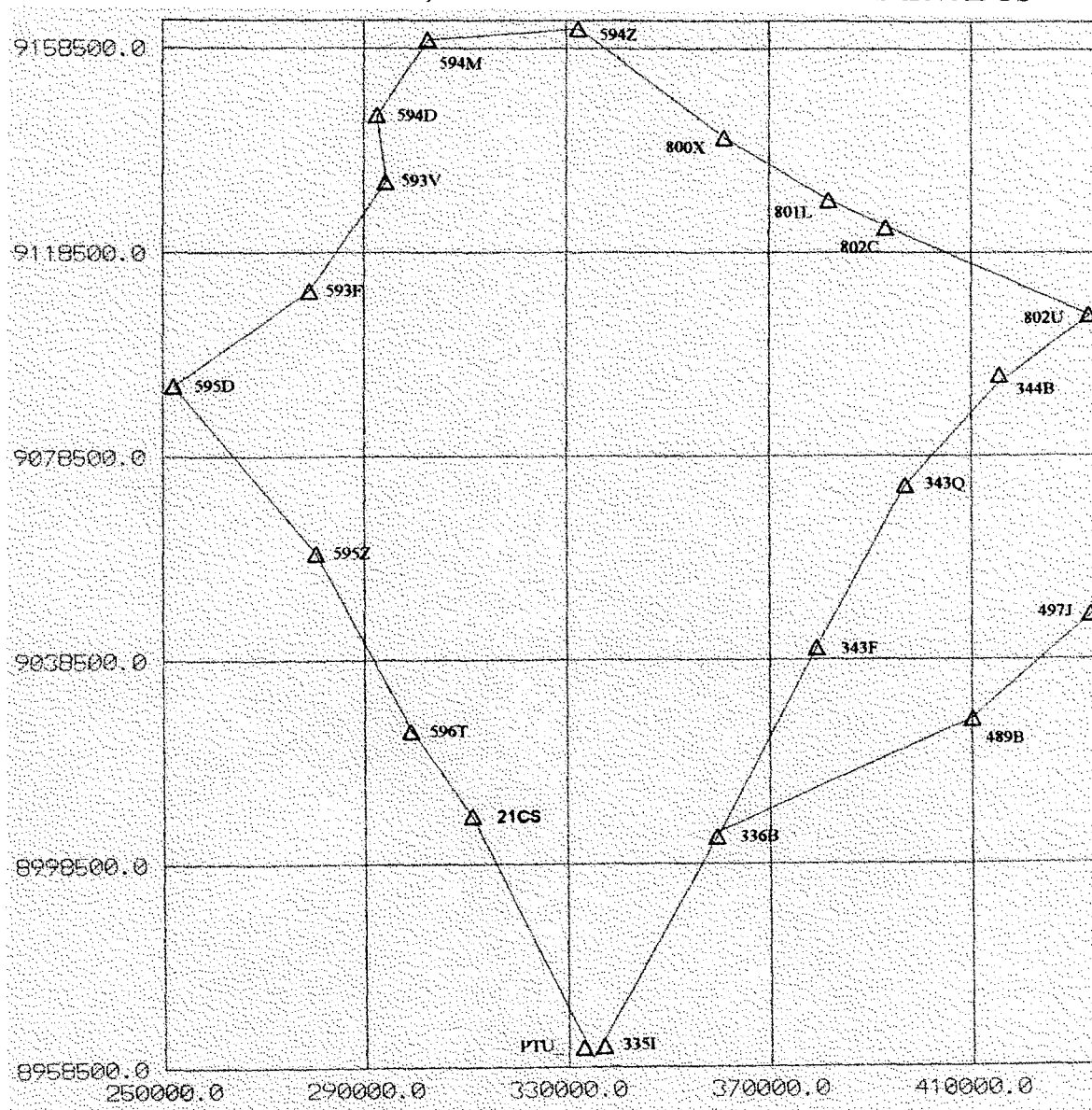
PTU_	335I	BBB_
336B	343F	343Q
344B	PNM_	1802U
1802C	1801L	ORC_

1800X	ARR_	594Z
594M	594D	593F
595D	595Z	596T
2498B	SMV_	21CS
23CS	29CS	EE2
498B	497J	1220

A figura 3.3 apresenta a distribuição espacial dos pontos observados com o receptor geodésico Trimble SST, estão de conformidade com a relação acima.

Os pontos 21CS e 23CS da Companhia Cruzeiro do Sul, foram excluídos do projeto, devido a falta de acesso aos valores das suas altitudes, e os pontos ARR_, BBB_, ORC_, PNM_, SMV_, da Rede Fundamental GPS de Pernambuco, por não possuírem valores ortométricos.

FIGURA 3.3: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS PONTOS OBSERVADOS



4 MEDIÇÕES E CÁLCULOS GPS

4.1 Síntese Teórica das Medições e Cálculos GPS

4.1.1 Conceito de medidas GPS

A disponibilidade do Sistema NAVSTAR-GPS ao técnico especializado, possibilita, através da emissão de sinais da Banda L do espectro eletromagnético (Silva, 1990) produzidos nos osciladores atômicos (Cs e Rb) dos satélites GPS, obter posições relativas ou absolutas de pontos da superfície do Globo Terrestre.

Os sinais usados no sistema GPS (Seeber, 1994) são de três tipos - portadora, códigos e de dados ou mensagens de navegação - cujas características principais apresentamos abaixo:

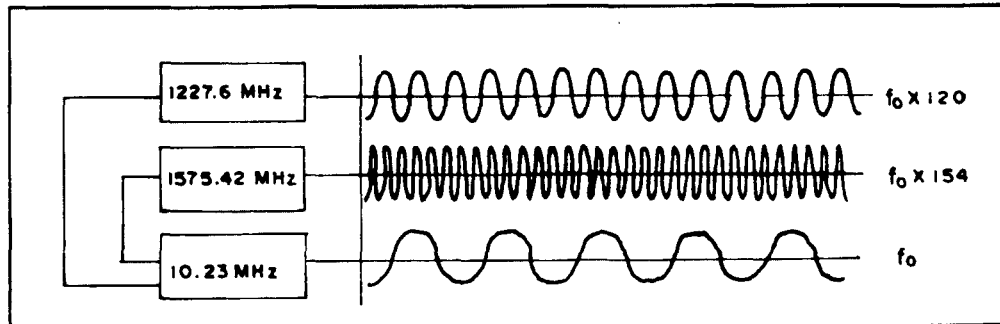
QUADRO 4.1: SINAIS GPS

RELÓGIO ATÔMICO: (Cs e Rb) Frequência Básica: (FB) = 10.23Mhz			
SINAL	FREQUÊNCIA	COMPRIMENTO DE ONDA	DURAÇÃO DO CICLO
Portadora L1	154 * FB 1575,42 MHz	19,05 cm	
Portadora L2 (fig.4.1a)	120 * FB 1227,60 MHz	24,45 cm	
Código P	1 * FB 10,23Mhz (Mbps)	29,31 m	267 dias 7 dias/satélite
Código C/A (fig. 4.1b)	0.1 * FB 1,023Mhz (Mbps)	293,1 m	1 mseg.
Dados - mensagens de navegação	50 bps		30 seg.

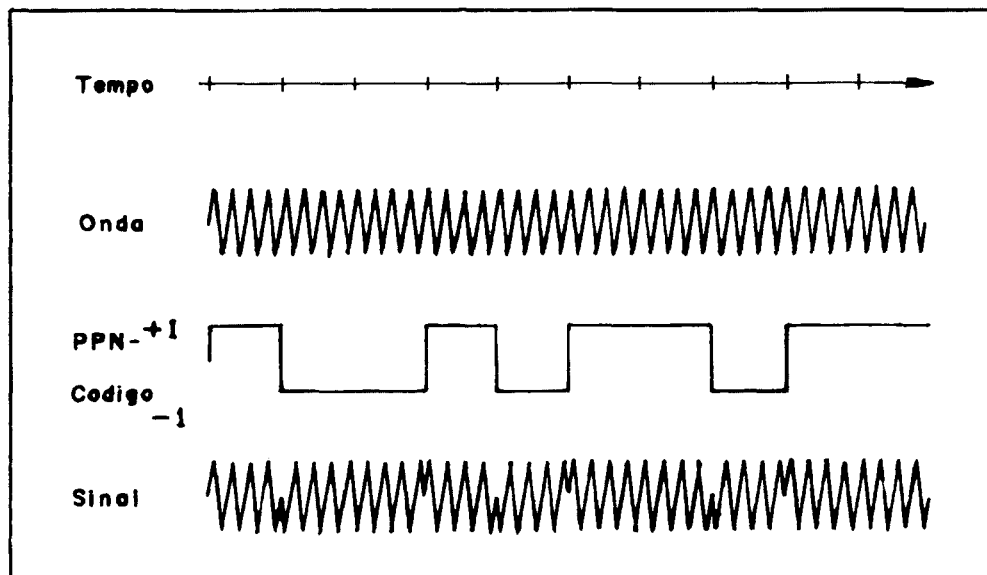
Do valor nominal da frequência básica é subtraído o fator (4.45×10^{-10}) , para compensar os efeitos relativísticos causados pela diferença de potencial gravitacional e a velocidade relativa entre o satélite e o receptor (Andrade, 1988).

FIGURA 4.1: SINAIS GPS

(A) sinais GPS - portadoras L_1 e L_2 (fonte: Andrade, 1988).



(B) - sinais GPS modulado por um código (fonte: Seeber, 1994)



Os osciladores dos satélites GPS produzem os códigos PSEUDO RANDOM NOISE - (PRN) - ruídos pseudo aleatórios, uma seqüência aparentemente aleatória de valores binários 0 e 1 ou +1 e -1 inequivocamente identificáveis - denominados de código de "Precision Protected" ou código P, de precisão protegida e o código de "Clear Aquisition" ou código C/A, de fácil acesso (fig.4.1b).

- O código P chega ao receptor através da modulação das portadoras L_1 e L_2 ;

- O código C/A chega através apenas da modulação da portadora L1.

A distância entre o satélite e o receptor é a grandeza fundamental para o posicionamento GPS (Andrade,1988), cuja determinação requer o conhecimento preciso da posição do satélite, do tempo de transmissão do sinal entre o satélite e o receptor e da sua velocidade de propagação ($v = d/t$). Na prática a distância satélite-receptor é obtida, considerando a velocidade de propagação do sinal como sendo a velocidade da luz "c", e tempo " τ " medido, e, neste, estão contidos os estados dos relógios do satélite e do receptor, bem como as influências causadas pela ionosfera e troposfera, por isso é denominada de PSEUDO-DISTÂNCIA (Andrade, 1988).

$$\tilde{D} = c.(\tau) \quad (4.1)$$

sendo:

$$\tau = (t_r - T_t)$$

t_r = tempo de recepção do sinal

T_t = tempo de recepção da transmissão

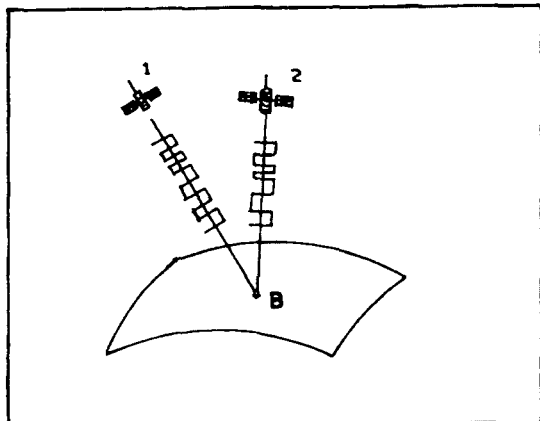
c = velocidade da luz

\tilde{D} = pseudo distância

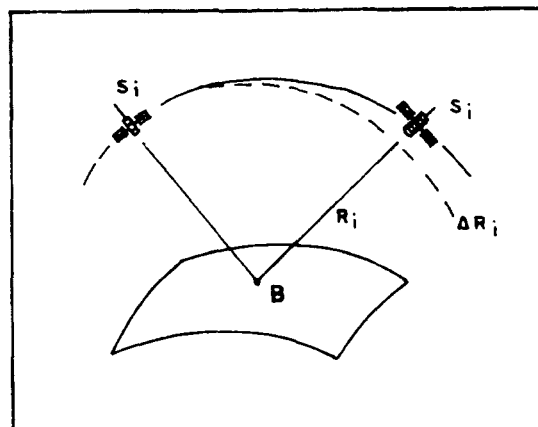
Com base nos sinais das portadoras e nos códigos, as medições GPS podem ser efetuadas de quatro maneiras distintas de observáveis - entenda-se por observáveis àquelas grandezas físicas ou geométricas mensuráveis que associadas a uma função matemática fornece valores de parâmetros que não podem ser medidos diretamente - que são:

FIGURA 4.2: OBSERVÁVEIS (fonte: Seeber,1993)

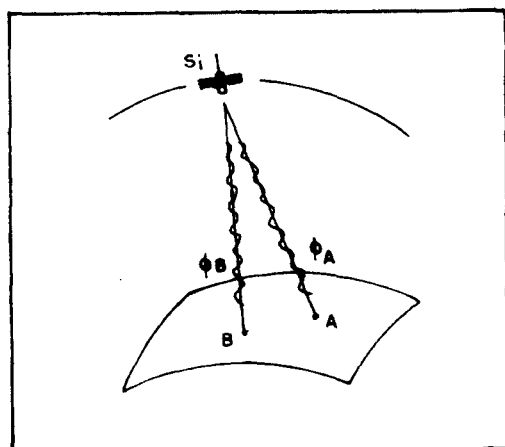
(a) - por códigos



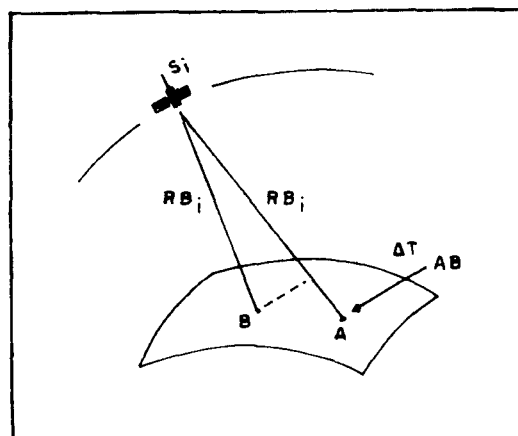
(b) - por contagem Doppler integrada



(c) - pela fase da portadora



(d) - por interferometria



- 1 - Pseudo distâncias - baseada nas medições dos códigos (fig.4.2a);
- 2 - Diferenças de pseudo-distâncias - baseadas na contagem Doppler integrada (4.2b);
- 3 - Fase portadora ou diferença de fase portadora - baseada na portadora e na frequência constante do receptor (fig.4.2c) e
- 4 - Diferença do tempo de propagação - baseada em medições interferométricas (4.2d).

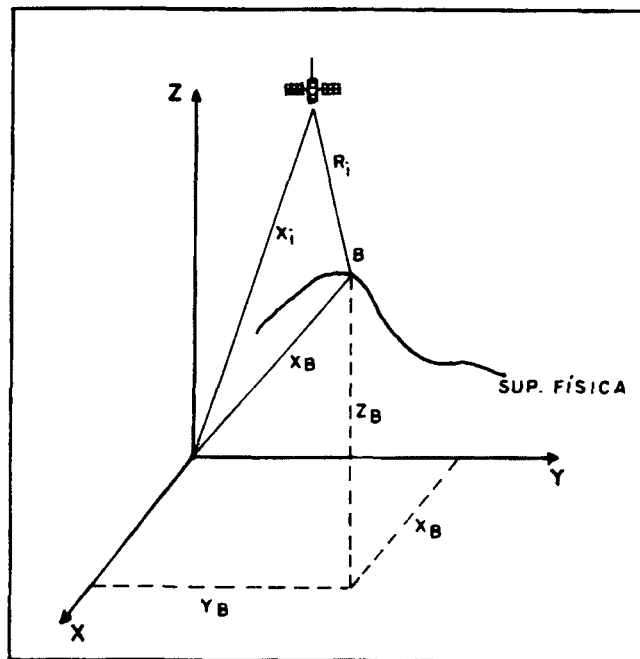
Em virtude das medições com técnica Doppler requererem muito tempo de observação e as interferométricas utilizarem equipamentos altamente sofisticados, nas aplicações geodésicas utiliza-se apenas as observáveis por fase do código e fase da portadora.

A pseudo distância baseada em medições de código é igual ao intervalo de tempo (τ) necessário para correlacionar a seqüência de código recebida com a seqüência de código gerada no receptor, multiplicado pela velocidade de propagação da luz (c):

$$PR_i = c.(\tau_i) = |\bar{X}_i - \bar{X}_B| + c.dtu \quad (4.2)$$

$$PR_i = [(X_i - X_b)^2 + (Y_i - Y_b)^2 + (Z_i - Z_b)^2]^{1/2} + c.dtu \quad (4.3)$$

FIGURA 4.3: SISTEMA CARTESIANO GEOCÊNTRICO (fonte: Romão, 1995)



R_i - distância geométrica entre a antena do satélite S_i e a antena do receptor em B;

\bar{X}_i - vetor posição do satélite no sistema geocêntrico;

\bar{X}_B - vetor posição do centro de fase do receptor em B, no sistema geocêntrico;

τ - tempo de propagação do sinal entre o satélite S_i e o receptor em B;

dtu - erro de sincronização entre o tempo do sistema GPS e o relógio do receptor e

c - velocidade de propagação do sinal.

A Pseudo distância baseada em fase portadora é obtida através da comparação da fase do sinal da portadora (Φ_{cr}) com uma de referência (Φ_0) nominalmente constante gerada no receptor. Logo, a observável é a diferença de fase medida:

$$\Phi_B = \Phi_{cr} - \Phi_0 \quad (4.4)$$

considerando a equação de observação para medida de fase da portadora (Seeber,1994) a expressão:

$$\Phi_{Bi} = (2\pi/\lambda) . (|\bar{X}_i - \bar{X}_B| - \lambda NB_i + c.dtu) \quad (4.5)$$

onde:

λ - é o comprimento de onda da portadora;

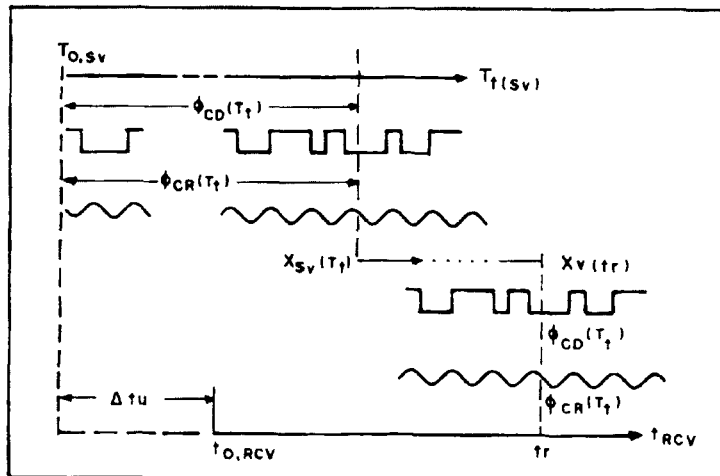
NB_i - é o nº inteiros de ciclos da portadora na distância R_i - ambigüidades e

Os outros fatores - $2\pi/\lambda$, $|\bar{X}_i - \bar{X}_B|$ e $c.dtu$ - são idênticos aos com medição por código.

Como a observável fornece apenas a resolução de um comprimento de onda e NB_i corresponde ao número inteiros de ciclos na distância R_i , daí a dificuldade do método, pois para o cálculo de NB_i carece do conhecimento de R_i , - com precisão dentro do comprimento do ciclo $\cong 20$ cm - ou de métodos adequados à determinação.

A figura 4.4 representa o esboço da propagação do sinal por fases do código e da portadora.

FIGURA 4.4 PROPAGAÇÃO DOS SINAIS , POR FASE DO CÓDIGO POR FASE DA PORTADORA: (fonte: Seeber, 1994)



onde:

T - tempo do sistema do satélite sv

t - tempo do sistema do receptor

subíndice t - sinal transmitido

subíndice r - sinal recebido

f_{cd} - frequência do código

f_{cr} - frequência da portadora

As expressões 4.6 e 4.7 representam as fases do código e da portadora no momento da transmissão, e são respectivamente:

$$\Phi_{cd}(T_t) = (T_{tsv}).(f_{cd}) \quad (4.6)$$

$$\Phi_{cr}(T_t) = (T_{tsv}).(f_{cr}) \quad (4.7)$$

sendo:

$\Phi_{cd}(T_t)$ = fase do código no instante da transmissão do sinal do satélite;

$\Phi_{cr}(T_t)$ = fase da portadora no instante da transmissão do sinal do satélite;

T_{tsv} = tempo de transmissão no sistema de tempo do satélite;

f_{cd} = frequência do código e

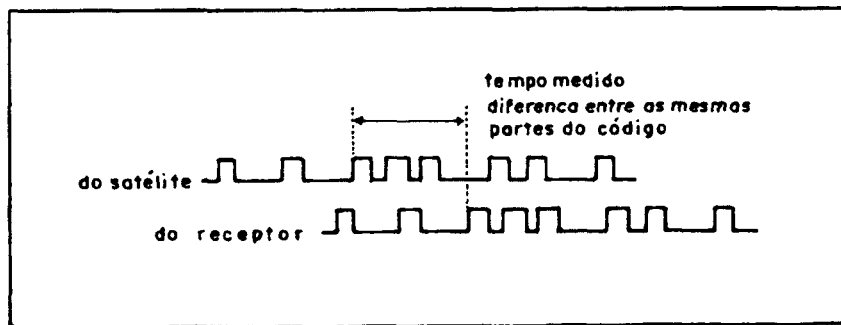
f_{cr} = frequência da portadora.

4.1.2 Processo de Medição das Fases do Código e da Portadora

4.1.2.1 Utilizando Fase do Código

O processo de observação da fase do código (fig.4.5) ocorre no momento de máxima correlação (alinhamento) entre uma replica do código PRN gerado no receptor com o código recebido do satélite, e, assim, tem-se como leituras, o tempo T_t da emissão do sinal no sistema de tempo do satélite e o tempo t_r neste mesmo momento no sistema do receptor.

FIGURA 4.5: PROCESSO DE MEDIÇÃO POR CÓDIGO (Andrade,1988)



A expressão (4.2) - em virtude de que em $\tau = (t_r - T_1)$ estão contidos os estados dos relógios do satélite e do receptor no sistema de tempo GPS, bem como os efeitos da refração (ionosférica e troposférica) e também pelo próprio ruído da observação (Andrade,1988) - pode ser escrita (Seeber,1994) da seguinte forma:

$$PR_{cd} = R_i + c.dtu + c.dta + c.dts + \epsilon_r \quad (4.8)$$

onde:

PR_{cd} = pseudo distância por fase do código entre o satélite e o receptor;

R_i = distância geométrica entre o satélite e o receptor;

dts = estado do relógio do satélite em relação ao tempo GPS;

dtu = estado do relógio do receptor em relação ao tempo GPS;

dta = retardo devido a refração;

c = velocidade de propagação e

ϵ_r = ruído da medição.

4.1.2.2 Utilizando Fase da Portadora

O processo de observação através da fase da portadora é uma relação que consiste na diferença entre a fase portadora transmitida $\phi_{cr}(T_1)$ definida no sistema de tempo do satélite e a fase do sinal de referência $\Phi_0(t_r)$ no sistema de tempo do receptor, assim a fase relativa é dada por:

$$\phi_m(t_r) = \phi_{cr}(T_t) - \Phi_0(t_r) \quad (4.9)$$

mas,

$$\Phi_0(t_r) = t_r \cdot f_0 \quad (4.10)$$

assim:

$$\phi_0(T_t) = \phi_m(t_r) + t_r \cdot f_0 \quad (4.11)$$

Pela figura 4.6 tem-se:

$$\Phi_{cr}(T_t) = N \cdot 360^\circ + \phi_{cr}(T_t) \quad (4.12)$$

FIGURA 4.6: MEDIÇÃO PELA FASE DA PORTADORA (fonte: Seeber, 1994)

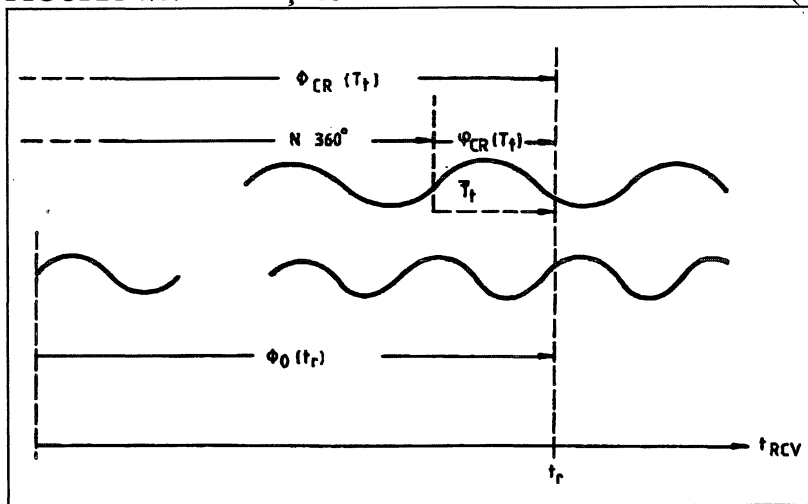
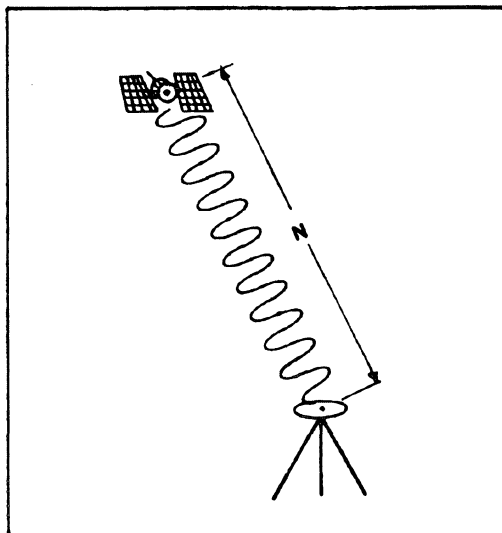


FIGURA 4.7: AMBIGÜIDADE - N



onde N é o número inteiro de ciclos (ambigüidades) (fig.4.7). E o tempo de transmissão do sinal, no sistema de tempo do satélite é dado pela expressão 4.12 levada à 4.7, assim:

$$T_{t(sv)} \cdot f_{cr} = N \cdot 360^\circ + \phi_{cr}(T_t)$$

$$T_{t(sv)} = (N \cdot 360^\circ) / f_{cr} + (\phi_{cr}(T_t)) / f_{cr} \quad (4.13)$$

$$T_{t(sv)} = T_t + N / f_{cr} \quad (4.14)$$

Assim, a pseudo distância obtida a partir da medida da fase da portadora é:

$$PR_{cd} = c \cdot (t_r - T_t) \quad (4.15)$$

E, semelhantemente como para o código, afora evidentemente o termo N da ambigüidade (Seeber,1994), a equação de observação pode ser escrita:

$$PR_{cr} = R_i + c \cdot dt_u + c \cdot dt_a + c \cdot dt_s + c \cdot N / f_{cr} + \varepsilon_r \quad (4.16)$$

onde:

$$c \cdot N / f_{cr} = N \lambda_{cd} \quad (4.17)$$

é o termo da ambigüidade.

4.1.3 - Posicionamento GPS

Com os dados GPS pode-se efetuar posicionamento por ponto - rastreando vários satélites de uma só estação - ou posicionamento relativo ou diferencial - que consiste em efetuar observações de duas ou mais estações simultaneamente de vários satélites. Para aplicações geodésicas é recomendado o posicionamento relativo, uma vez que as fontes de erros que afetam os sinais GPS tais como, erros nos elementos orbitais, nos relógios dos satélites e dos receptores, as influências atmosféricas, etc, ocorrem da mesma maneira nas estações de observação que rastreiam simultaneamente o mesmo satélite, sendo fortemente correlacionados, podem ser sensivelmente reduzidos ou mesmo eliminados.

As observações por fase do código fornecem precisão de poucos metros - 2 a 3 no posicionamento relativo - em virtude dos seus grandes comprimentos de onda - $\lambda c/a \cong 293m$

e $\lambda_p \cong 29.3\text{m}$ -, enquanto que observações por fase da portadora L1 e L2 que possuem comprimento de onda da ordem do centímetro - $\lambda_{L1} \cong 19\text{cm}$ e $\lambda_{L2} \cong 25\text{cm}$ - levam a resultados à precisão centimétrica.

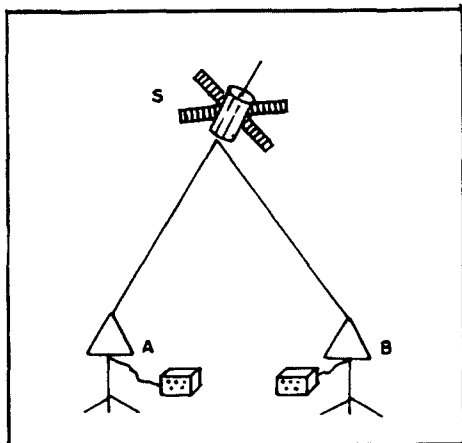
Por tratar-se de interesse para aplicações geodésicas apresentamos a seguir o conceito do cálculo concernente apenas às observações por fase da portadora, mas adiantamos que o mesmo raciocínio é válido utilizando os sinais do código.

Assim, as medições diferenciais ou relativas podem ser efetuadas das seguintes maneiras:

- 1 - por diferença simples;
- 2 - por dupla diferença e
- 3 - por tripla diferença.

1 - Por Diferença Simples - quando simultaneamente de duas estações são observados o mesmo satélite (Fig. 4.8).

FIRUGA 4.8 - SIMPLES DIFERENÇA (fonte: King,1985)



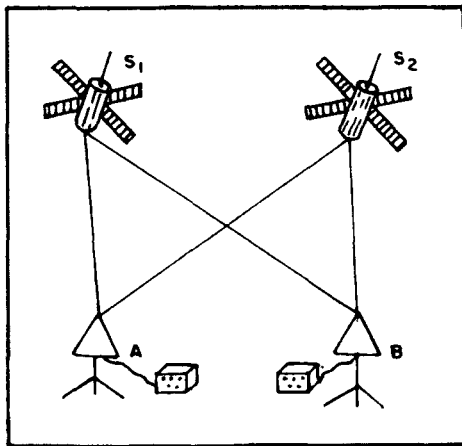
$$(\Delta PR)_{A,B} = (\Delta R)_{A,B} + c.(\Delta tu)_{A,B} + c.(\Delta ta)_{A,B} + \lambda(\Delta N)_{A,B} + \Delta \epsilon \quad (4.18)$$

o termo "dts" da expressão 4.16 desaparece por ser o erro do relógio do satélite o mesmo para as duas estações.

Para as estações próximas os erros orbitais e ionosféricos podem ser minimizados ou mesmo eliminados.

2 - Dupla diferença - quando simultaneamente de duas estações A e B são observados dois satélites s_1 e s_2 (fig. 4.9).

FIGURA 4.9: DUPLA DIFERENÇA (fonte: King, 1985)



Pela expressão (4.18) aplicada a dois satélites s_1 e s_2 teremos a diferença de duas diferenças simples, assim:

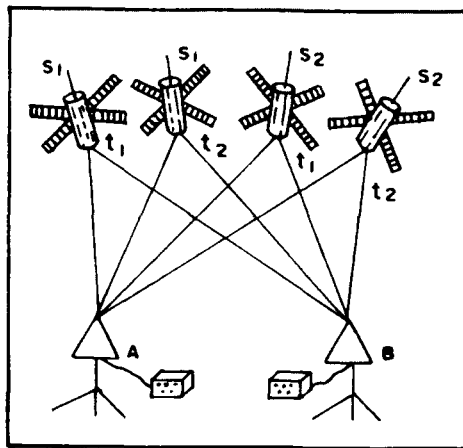
$$(\Delta PR)_{A,B}^{1,2} = (\Delta R)_{A,B}^{1,2} + c.(\Delta ta)_{A,B}^{1,2} + (\Delta N)_{A,B}^{1,2} + \Delta \epsilon \phi \quad (4.19)$$

o termo " $c.(\Delta tu)$ " da expressão (4.18), erro do relógio do receptor desaparece;

As observações por dupla diferença estão sem o erro do relógio do satélite e do receptor, somente incluem reduzidos erros orbitais e atmosféricos.

3 - Tripla Diferença - quando em duas épocas distintas t_1 e t_2 , simultaneamente de duas estações A e B são observados dois satélites s_1 e s_2 (Fig. 4.10), ou seja, é a diferença entre duas diferenças duplas para o instante t_1 e para o instante t_2 .

FIGURA 4.10 - TRIPLA DIFERENÇA (fonte: King, 1985)



$$\delta(\Delta PR_{A,B}^{1,2})_{t_1,t_2} = \delta(\Delta R_{A,B}^{1,2})_{t_1,t_2} + \delta(c\Delta t_{A,B}^{1,2})_{t_1,t_2} + \varepsilon_{res} \quad (4.20)$$

As observações por tripla diferença remove ou reduz os efeitos do erro do relógio do satélite e do receptor e os erros de N ambigüidade da fase.

A solução da tripla diferença é bastante utilizada para obter soluções aproximadas e extrair os "cycle slips" - obstrução entre o receptor e satélite - num processo automático.

É comum nos cálculos GPS formar combinações lineares entre as fases das portadoras $L1$ e $L2$, cujo objetivo principal é eliminar as influências atmosféricas e determinar o número inteiro de ciclos - ambigüidades -. Das inúmeras combinações lineares formadas pelas portadoras, são do nosso interesse aquelas que possuem:

- coeficientes inteiros para produzir ambigüidades inteiras;
- comprimento de onda longo, para facilitar a fixação das ambigüidades;
- baixa influência ionosférica e
- baixo ruído da observação.

Assim neste trabalho utilizamos combinações lineares cujo sinal resultante minimizam ou eliminam esses efeitos e influências e estão de acordo com o equipamento utilizado em nosso projeto (o receptor Trimble 4000SST trabalha com $\lambda/2$).

Segundo Gerhard Wübbena (1989) as mais importantes combinações lineares são àquelas que produzem os sinais “wide lane” e a “narrow lane”, cuja quantidade de retardo da ionosfera é o mesmo para ambas, porém de sinais opostos. A wide lane tem maior comprimento de onda e a narrow lane o menor ruído. Assim, manipulando adequadamente essas combinações, poderemos formar a que convém:

sendo:

$$L_{\Delta} = L_1 - L_2$$

$$L_{\Sigma} = L_1 + L_2$$

onde:

L_{Δ} = é a combinação linear de $(L_1 - L_2)$ wide-lane ou banda larga, e

L_{Σ} = é a combinação linear de $(L_1 + L_2)$ narrow-lane ou banda curta.

$$L_0 = \frac{L_{\Delta} + L_{\Sigma}}{2} \quad (4.21)$$

$$L_1 = L_{\Sigma} - L_{\Delta} \quad (4.22)$$

L_0 = é o sinal resultado da semi-soma de L_{Δ} e L_{Σ} sem os erros ionosféricos e

L_1 = é o sinal resultante da diferença de $L_{\Sigma} - L_{\Delta}$ e contém os erros ionosféricos.

4.2 Cálculos

Os cálculos do presente trabalho foram efetuados com o programa Trimvec-Plus, Rev. E da Trimble. Com os recursos pertinentes a este software utilizou-se combinações lineares dos sinais das portadoras L1 e L2, no modo;

- WIDELANE (L1-L2) que soluciona as ambigüidades mais facilmente e, no modo e
- NO-ION (L1/L2) combinações lineares livres dos efeitos da ionosfera.

Cada linha, independentemente do seu comprimento foi calculada com as soluções dupla diferença fixa, dupla diferença float e tripla diferença. Conforme (IBGE,1993) entende-se por:

- Dupla diferença fixa: DUPLA-FIX - solução resultante do processamento de duas diferenças de fase onde foi possível determinar as ambigüidades como números inteiros; normalmente este é o tipo de solução encontrada para linhas de base curtas - < 15Km ;
- Dupla diferença float: DUPLA-FLOAT - solução resultante do processamento de duas diferenças de fase onde não foi possível determinar as ambigüidades como números inteiros; normalmente é a solução indicada para linhas de base de médias e longas que apresentam observações de boa qualidade;
- Tripla diferença: TRIPLA - solução resultante do processamento de triplas diferenças de fase; indicada para linhas de base maiores de 100Km que apresentem qualidade insuficiente para obtenção de bom resultados com a float; p.ex. ocorrência de cycles slip.

Estes resultados podem ser comparados entre si e/ou com as especificações constantes no manual TRIMVEC-PLUS. Apresentamos abaixo o quadro 4.2 das soluções com suas respectivas "distâncias", "RMS", "rejeição >10%" e "RDOP". Onde:

- WL - representa o cálculo efetuado com a combinação linear WIDELANE (L1-L2);
- .OPT - representa os valores obtidos com a solução dupla diferença fixa;
- .FLT - representa os valores obtidos com a solução dupla diferença float;

- .TRP - representa os valores obtidos com a solução tripla diferença;
- RMS - representa o erro médio quadrático;
- RDOP - representa a diluição de precisão relativa, segundo (TRIMBLE,1991) é uma quantidade usada para avaliar o efeito da mudança da geometria dos satélites nas soluções das linhas de base quando as observações são realizadas por tempo insuficiente. É representada matematicamente pela seguinte expressão:

$$RDOP = \frac{\sqrt{\sigma_{Dx}^2 + \sigma_{Dy}^2 + \sigma_{Dz}^2}}{\sigma_{DD}}$$

ou seja: a raiz quadrada do traço da matriz covariância dividida pela incerteza de uma medição por dupla diferença. Tem como unidade o m/ciclo da L1. Valores abaixo de 0.4 são associados a bons resultados e

- Rej. - representa o número de observações rejeitadas no cálculo, e o asterisco indica que essa quantidade é mais de 10%.

QUADRO 4.2: SOLUÇÕES

Linha	Tipo	Modo	Dist. (m)	RMS (cm)	Rej. %	RDOP
PTU_	WL	OPT	561,65	0,3	**	0,41
-		FLT	561,51	0,3		3,35
335I		TRP	561,79	0,5	**	13,32
335I	WL	OPT	50748,67	0,6		0,41
-		FLT	50748,77	0,6		2,36
336B		TRP	50748,35	1,3	**	11,16
336B	WL	OPT	44546,31	0,4		0,35
-		FLT	44546,31	0,3		1,56
343F		TRP	44546,25	0,5		9,23
343F	WL	OPT	32507,02	0,3		0,35
-		FLT	32506,96	0,2		1,95
343Q		TRP	32506,96	0,5		9,23
343Q	WL	OPT	27042,80	0,5		0,28
-		FLT	27042,75	0,5	**	2,36
344B		TRP	27043,28	0,8		9,25

344B	WL	OPT	22978,08	0,4		0,34
-		FLT	22978,09	0,2		2,94
802U		TRP	22977,95	0,5		10,33
802U	WL	OPT	36051,21	0,2		0,32
-		FLT	36051,23	0,2		2,33
802C		TRP	36051,35	0,5		10,51
802C	WL	OPT	21049,37	0,6	**	0,43
-		FLT	21049,22	0,3		3,08
801L		TRP	21049,48	0,6		10,02
801L	WL	OPT	23279,43	1,5		0,66
-		FLT	23279,41	0,3		6,70
800X		TRP	23279,88	0,8		14,01
800X	WL	OPT	35918,92	1,2		0,74
-		FLT	35919,26	0,5		9,49
594Z		TRP	35920,83	0,9		20,51
594Z	WL	OPT	29745,98	0,6		0,48
-		FLT	29746,13	0,5		2,59
594M		TRP	29745,96	1,1		12,65
594M	WL	OPT	18079,79	0,3		0,37
-		FLT	18079,71	0,2		1,79
594D		TRP	18079,78	0,6		9,33
594D	WL	OPT	13183,65	0,4	**	0,63
-		FLT	13183,55	0,3		6,02
593V		TRP	13183,73	0,6		12,04
593V	WL	OPT	26102,60	0,6		0,26
-		FLT	26102,61	0,4		1,01
593F		TRP	26102,64	0,8		6,06
593F	WL	OPT	20437,61	0,4		0,46
-		FLT	20437,74	0,3		4,91
595D		TRP	20438,07	0,9		15,29
595D	WL	OPT	34526,44	0,7		0,30
-		FLT	34526,36	0,6		4,02
595Z		TRP	34526,18	1,1		23,05
595Z	WL	OPT	40113,04	1,4		0,45
-		FLT	40113,00	0,5		3,86
596T		TRP	40112,77	1,0		10,48
596T	WL	OPT	19836,54	1,0		0,28
-		FLT	19836,60	0,4		1,68
21CS		TRP	19836,56	0,8	**	8,42
21CS	WL	OPT	53019,64	0,9		0,32
-		FLT	53019,58	0,5		1,86
PTU		TRP	53019,70	1,0		7,33

** rejeição maior que 10% do número de observações usadas.

Para escolha da melhor solução, as linhas calculadas, foram individualmente submetidas a análise, observando os aspectos constantes no quadro acima.

Empregando o critério do comprimento de linha:

- solução .OPT distância < 15 km
- solução .FLT > 15 e < 50 km
- solução .TRP distância > 50 km

E verificando a qualidade do RMS, nº de observações rejeitadas e RDOP.

Contudo, utilizando o programa TCLOSE, com o qual se calculam os erros de fechamento dos circuitos formados com as soluções, admitiu-se como solução ótima aquela que obteve menor erro de fechamento e que se encontrava dentro da especificação do nível de precisão requerida pelo projeto.

O melhor resultado obtido foi aquele cujo conjunto de soluções forneceu um erro de fechamento de 0.4 ppm, quando o nominal do equipamento é de 2 ppm.

Vale ressaltar que para o polígono que apresentou o melhor resultado com o TCLOSE, algumas linhas fugiram das especificações dos elementos de análise, segundo a distância. Observe as linhas 336B-343F, 343F-343Q, 343Q-344B, 802U-802C, 594M-594D e 593F-595D onde as especificações, segundo a distância, no padrão do manual, indicavam as soluções .FLT como as melhores, no entanto quando observados seus RDOP's e submetidas ao TCLOSE, as soluções .OPT apresentaram melhores resultados. Assim sendo, achamos necessário investigar tal comportamento e fazemos a seguinte crítica:

- o TCLOSE determina o erro de fechamento de um conjunto de linhas de base. Substituindo uma dessas linhas e submetendo novamente ao TCLOSE, este pode apresentar resultado melhor em consequência de uma feliz compensação de valores, e não, necessariamente, pela qualidade da linha.

Uma maneira de checar essa qualidade seria inserir linhas de controle no polígono, o que não foi possível porque rastreamos um polígono no modo transversal e não em rede e

- durante o rastreamento dessas linhas a quantidade de satélites sempre esteve superior a 6, e os cálculos foram efetuados com uma combinação linear de longo comprimento de onda $\lambda_{1/2} = 34.1\text{cm}$ (TRIMBE,1991). Esta junção pode ter contribuído também para que os resultados .OPT se apresentassem melhores, mesmo para aquelas distâncias maiores que 15Km como especificado no manual.

O polígono com esta performance foi submetida ao processo de ajustamento com o software TRIMNET da Trimble. Inicialmente fez-se um ajustamento livre, em seguida, depois de escolhido um ponto particular, de coordenadas precisas, fez-se o ajustamento fixando ϕ , λ e h ; depois fixando ϕ e λ , e finalmente fixando apenas h . A estação escolhida como fixa foi a PTU_ da Rede Fundamental GPS de Pernambuco, cujas coordenadas encontram-se na pág.12.

Com relação a altura “h” os resultados do ajustamento livre, e do ajustamento fixando as três coordenadas de PTU_ foram idênticos aos resultados obtidos fixando ϕ e λ e fixando somente h , respectivamente. Apresentamos abaixo o quadro 4.3 com os desvios-padrão dos dois primeiros casos mostrando as altitudes resultantes:

QUADRO - 4.3 - DESVIO-PADRÃO DE h

PONTO	ALTURA (m)	LIVRE σ (m)	ALTURA (m)	FIXO σ (m)
PTU	354.19	0.08	354.21	0.00
335I	364.23	0.08	364.25	0.01
336B	349.49	0.04	349.51	0.10
343F	366.61	0.04	366.63	0.10
343Q	406.59	0.04	406.61	0.10
344B	398.22	0.04	398.24	0.10
593F	363.232	0.04	363.25	0.10
593V	433.32	0.04	433.35	0.10
594D	414.18	0.04	414.20	0.10
594M	467.28	0.04	467.30	0.10

PONTO	ALTURA (m)	LIVRE σ (m)	ALTURA (m)	FIXO σ (m)
594Z	626.70	0.04	626.72	0.10
595D	344.08	0.04	344.10	0.10
595Z	503.34	0.04	503.36	0.09
596T	403.62	0.04	403.64	0.09
800X	491.17	0.04	491.19	0.10
801L	442.94	0.04	442.96	0.10
802C	403.10	0.04	403.12	0.10
802U	378.47	0.04	378.49	0.10
21CS	391.86	0.05	391.88	0.09

Os resultados acima mostraram que o ajustamento livre, na média dos desvios-padrão, apresentou valores menores do que o ajustamento efetuado com as coordenadas precisas da Rede Fundamental GPS de Pernambuco, no entanto escolheu-se o resultado proveniente do ajustamento com estas coordenadas por estarem interligadas a Rede GPS Brasileira, e por satisfazerem os propósitos do nosso projeto.

Pode ser observado também, a quase homogeneidade dos desvios-padrão, tanto no ajustamento livre como no ajustamento fixando as coordenadas de um ponto particular, o que pode ser um indício de que o ajustamento de um polígono rastreado no modo transversal que apresenta um reduzido número de graus de liberdade tem como consequência seus resíduos degenerados numa simples distribuição homogênea do erro, tal como indica o quadro acima.

A seguir apresentamos o quadro 4.4 com os valores definitivos das coordenadas das estações do polígono que fizeram parte do ajustamento, bem como os respectivos desvios-padrão.

QUADRO 4.4: COORDENADAS DOS VÉRTICES

VÉRTICE	COORDENADAS	sigma (m)
21CS	-8° 58' 15.23"	0.04
	-40° 43' 08.99"	0.14
	391.88m	0.08
335I	-9° 23' 57.13"	0.00
	-40° 30' 04.16"	0.00
	364.25m	0.01
336B	-9° 00' 02.97"	0.05
	-40° 16' 19.54"	0.17
	349.51m	0.10

VÉRTICE	COORDENADAS	sigma
594Z	-7° 34' 33.28"	0.05
	-40° 31' 11.73"	0.16
	626.72m	0.10
595D	-8° 12' 18.27"	0.05
	-41° 04' 59.76"	0.16
	344.10m	0.10
595Z	-8° 30' 17.06"	0.04
	-40° 59' 43.76"	0.15
	503.36	0.10

343F	-8° 38' 45.56"	0.05	596T	-8° 49' 26.49"	0.04
	-40° 04' 50.00"	0.17		-40° 49' 21.56"	0.14
	366.63m	0.10		403.64m	0.09
343O	-8° 23' 20.76"	0.05	800X	-7° 46' 10.72"	0.05
	-39° 56' 13.68"	0.17		-40° 15' 31.18"	0.17
	406.61m	0.10		491.19m	0.10
344B	-8° 12' 32.36"	0.05	801L	-7° 52' 42.04"	0.05
	-39° 46' 16.06"	0.17		-40° 04' 40.54"	0.17
	398.24m	0.10		442.96m	0.10
593F	-8° 02' 16.26"	0.05	802C	-7° 57' 22.14"	0.05
	-41° 00' 15.72"	0.16		-39° 54' 13.41"	0.17
	363.25m	0.10		403.12m	0.10
593V	-7° 50' 47.81"	0.05	802U	-8° 05' 07.49"	0.05
	-40° 51' 56.33"	0.16		-39° 36' 12.70"	0.17
	433.35m	0.10		378.49m	0.10
594D	-7° 43' 42.56"	0.05	PTU	-9° 24' 03.21"	0.00
	-40° 52' 53.92"	0.16		-40° 30' 21.51"	0.00
	414.20m	0.10		354.21m	0.00
594M	-7° 35' 37.51"	0.05			
	-40° 47' 19.90"	0.16			
	467.30m	0.10			

Nossa expectativa era de que os resultados apresentassem desvios menores em latitude e longitude, e maior em altura, no entanto, na média, estas variações foram semelhantes. Apenas as longitudes apresentaram desvios-padrão com valores maiores, na ordem de 15cm. Em nosso projeto o interesse maior é pela altura, e as influências que os desvios-padrão da latitude e longitude exercem sobre a altura elipsoidal, para o nosso propósito, podem ser desprezadas.

Para encerrar este capítulo salientamos que, apesar dos manuais do usuário indicarem procedimentos de cálculo e de ajustamento específicos para cada comprimento de linha de base ou conjunto de linhas, no caso do ajustamento, os resultados obtidos nem sempre são os melhores. Quando são efetuados e analisados por especialistas, e considerando as peculiaridades do conhecimento teórico, por exemplo: a interpretação dos resultados sob ponto de vista da qualidade dos dados em relação a perda de sinal, saúde do satélite, medições rejeitadas, geometria da constelação, etc; das medições relativas efetuadas por duplas

diferenças fixa e float e tripla diferença; pelas diversas combinações lineares das portadoras L1 e L2; por relaxação de órbita, etc., concluimos que estes manuais são dirigidos àqueles usuários que não tem formação especializada. Assim, nossa sugestão é de que os cálculos GPS, sempre que possível, sejam efetuados nas mais variadas opções, e analisados criteriosamente antes de eleger os melhores valores.

5 DETERMINAÇÃO DO GEÓIDE LOCAL. A SUPERFÍCIE DE REFERÊNCIA

5.1 Síntese

Segundo (Gemael, 1981), classicamente os geodestas se valem de dois números - latitude ϕ e longitude λ - para definir a projeção de um ponto P da superfície física da Terra sobre a superfície do modelo de referência adotado. Um terceiro número, altitude ortométrica H relaciona o ponto P com o geóide - superfície equipotencial fundamental do campo da gravidade - sendo H um valor (número) de natureza dinâmica e não geométrica como ϕ e λ , que na verdade não constitui um conjunto 'coerente' de coordenadas.

Modernamente, os trabalhos geodésicos envolvem as três coordenadas de um ponto P da superfície física - ϕ , λ e h - onde 'h' representa a altura geométrica ou a distância do ponto à superfície do modelo de referência. Aliás este conceito de geodésia tridimensional é devido ao geodesta inglês 'Hotine' que lançou suas bases há mais de trinta anos. No entanto, a idéia de triangulação espacial - devendo ser compreendida no sentido de obter as três coordenadas de um ponto através de único processo - remota de "Bruns". Sob esta ótica, tal conceito encontrou vasto campo de aplicação na geodésia satelital.

Neste trabalho temos particular interesse pela 3ª coordenada, em virtude do objetivo maior ser a determinação do geóide que pode ser determinado através de observações e/ou medições diretas e discretas sobre pontos da superfície física - medições da gravidade na superfície, observações astronômicas, nivelamento geométrico e modernamente complementado por observações de satélites.

5.2 Determinação da Ondulação do Geóide Local a partir do Geóide Global

5.2.1 Transformação das Alturas GPS do WGS-84 para SAD-69

As coordenadas obtidas a partir de observações GPS sobre as estações descritas na fig. 3.3, devidamente calculadas e ajustadas no sistema WGS-84 (World Geodetic System) e posteriormente transformadas para o sistema de referência SAD-69 - South American Datum - com o programa GEOSYS elaborado pelo LAGEO (Laboratório de Geodésia - UFPE).

O conhecimento dos parâmetros de transformação entre referenciais vinculados às efemérides da constelação GPS e o sistema geodésico adotado no Brasil, constitui uma necessidade ao usuário de técnicas de posicionamento por GPS. O referencial vinculado às efemérides desses satélites é o WGS-84 (IBGE, 1993).

A partir de 1977 o Brasil adotou como referencial geodésico, o South American Datum 1969 ou (SAD-69). Em 1987, o IBGE realizou uma campanha de rastreamento de satélites sobre o vértice Chuá - ponto origem do sistema SAD-69 - com objetivo específico de obter subsídios para determinar os parâmetros de transformação entre os dois sistemas.

Basicamente houve o seguinte procedimento:

- . foram calculadas as coordenadas cartesianas (WGS-84);
- . foram calculadas as coordenadas cartesianas (SAD-69) e,
- . comparando os dois conjuntos de valores obteve-se os parâmetros de transformação procurados (IBGE, 1993).

$$\Delta X = +66.87\text{m} \pm 0.43\text{m}$$

$$\Delta Y = - 4.37\text{m} \pm 0.44\text{m}$$

$$\Delta X = +38.52\text{m} \pm 0.40\text{m}$$

Com esses parâmetros de transformação e os seguintes parâmetros definidores dos respectivos elipsóides:

- para o WGS-84;

$$a = 6378137 \text{ m}$$

$$f = 1/298,257223563$$

- para o SAD-69;

$$a = 6378160 \text{ m}$$

$$f = 1/298,25$$

foi implementado o algoritmo matemático de conformidade com as especificações constantes em (IBGE,1993) pertinente a geometria do elipsóide e, ao final, com o número de pontos a transformar, o seu código e suas coordenadas em WGS-84, obtem-se, na saída, o código do ponto, as coordenadas WGS-84 e as coordenads em SAD-69. O quadro 5.1 apresenta as coordenadas (latitude - φ em graus, minutos e segundos; longitude - λ em graus, minutos e segundos e altura elipsóidal - h em metros) no sistema WGS-84 e no sistema SAD-69.

QUADRO 5.1 - TRANSFORMAÇÃO DE COORDENADAS WGS-84 PARA SAD-69

Pto.	COORDENADAS		Pto.	COORDENADAS	
	WGS-84	SAD-69		WGS-84	SAD-69
335I	-09° 23' 57.13"	-09° 23' 55.62"	594M	-07° 35' 37.51"	-07° 35' 36.04"
	-40° 30' 04.16"	-40° 30' 02.84"		-40° 47' 19.90"	-40° 47' 18.59"
	364.25 m	387.94 m		467.30m	492.23m
336B	-09° 00' 02.97"	-09° 00' 01.46"	594D	-07° 43' 42.56"	-07° 43' 41.08"
	-40° 16' 19.54"	-40° 16' 18.23"		-40° 52' 53.92"	-40° 52' 52.60"
	349.51 m	373.68 m		414.20m	438.96m
343F	-08° 38' 45.56"	-08° 38' 44.06"	593V	-07° 50' 47.81"	-07° 50' 46.34"
	-40° 04' 50.00"	-40° 04' 48.70"		-40° 51' 56.33"	-40° 51' 55.01"
	366.63 m	391.21 m		433.35m	458.03m
343Q	-08° 23' 20.76"	-08° 23' 19.26"	593F	-08° 02' 16.26"	-08° 02' 14.78"
	-39° 56' 13.67"	-39° 56' 12.38"		-41° 00' 15.72"	-41° 00' 14.40"
	406.61m	431.51m		363.25m	387.69m
344B	-08° 12' 32.35"	-08° 12' 30.87"	595D	-08° 12' 18.26"	-08° 12' 16.78"
	-39° 46' 16.06"	-39° 46' 14.78"		-41° 04' 59.76"	-41° 04' 58.43"
	398.24m	423.39m		344.10m	368.35m
802U	-08° 05' 07.49"	-08° 05' 06.00"	595Z	-08° 30' 17.06"	-08° 30' 15.57"
	-39° 36' 12.70"	-39° 36' 11.42"		-40° 59' 43.76"	-40° 59' 42.44"
	378.49m	403.85m		503.36m	527.43m
802C	-07° 57' 22.14"	-07° 57' 20.66"	596T	-08° 49' 26.49"	-08° 49' 24.99"
	-39° 54' 13.41"	-39° 54' 12.13"		-40° 49' 21.56"	-40° 49' 20.24"
	403.12m	428.38m		403.64m	427.57m
801L	-07° 52' 42.04"	-07° 52' 40.56"	21CS	-08° 58' 15.23"	-08° 58' 13.72"
	-40° 04' 40.54"	-40° 04' 39.25"		-40° 43' 08.99"	-40° 43' 07.67"
	442.96m	468.16m		391.88m	415.76m
800X	-07° 46' 10.72"	-07° 46' 09.24"	PTU_	-09° 24' 03.21"	-09° 24' 01.69"
	-40° 15' 31.18"	-40° 15' 29.88"		-40° 30' 21.51"	-40° 30' 20.20"
	491.19m	516.35m		354.21m	377.89m
594Z	-07° 34' 33.28"	-07° 34' 31.81"			
	-40° 31' 11.73"	-40° 31' 10.42"			
	626.72m	651.86m			

5.2.2 Interpolação do Geóide Global

A partir dos valores da latitude e da longitude referenciados ao SAD-69 o programa MAPAGEO versão 1.0 - elaborado pelo IBGE e EPUSP - efetua a interpolação das

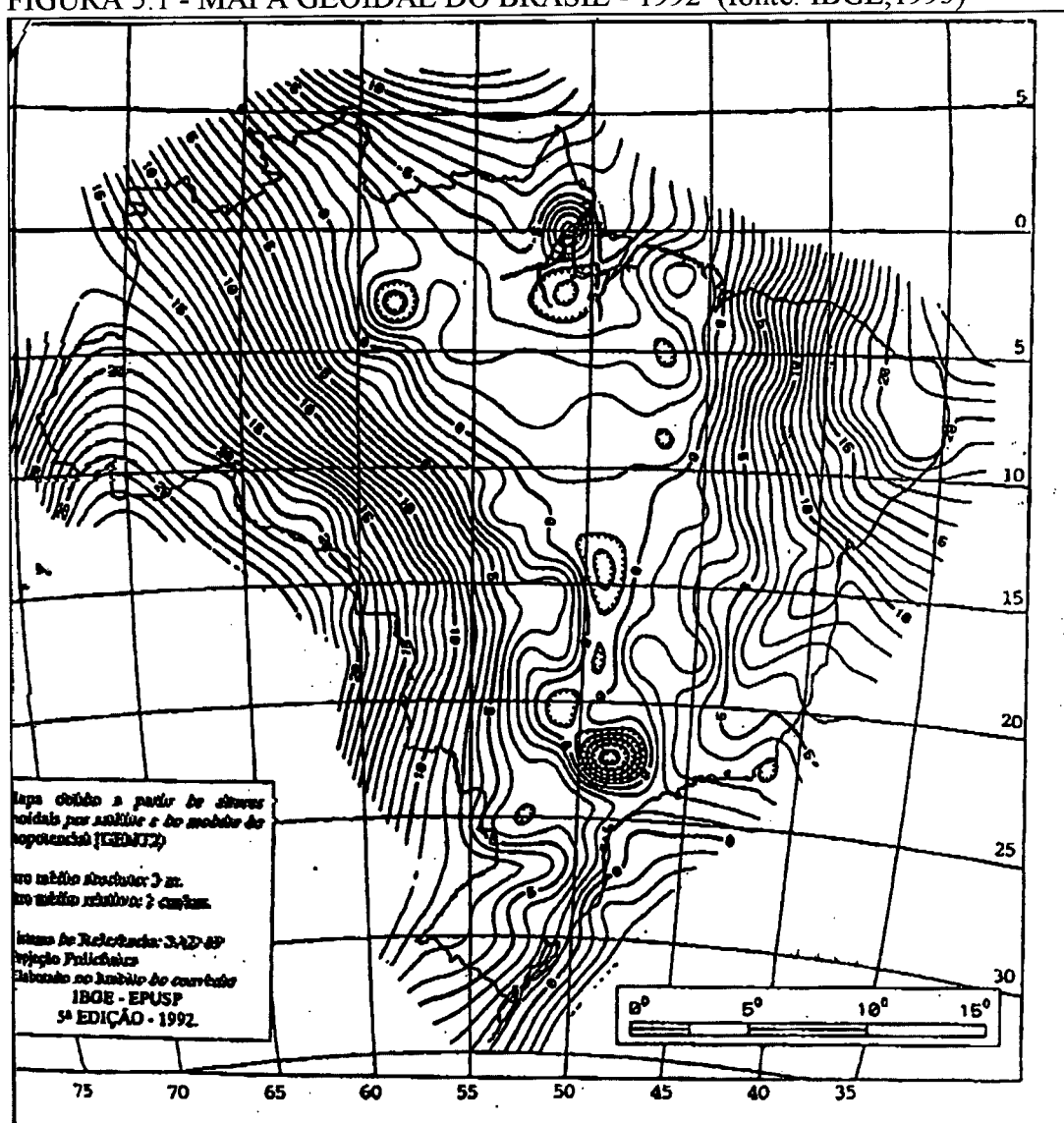
ondulações geoidais globais (quadro 5.2) , cujo mapa de ondulação (Blitzkow et al.,1992) foi obtido através de observações satelitais aliado ao modelo geopotencial GEMT2 (Goddard Earth Models) e referenciado ao SAD-69 (South American Datum) (fig.5.1).

Segundo (Kruger,1994 e Blitzkow et al.,1993) o Modelo Geopotencial GEMT2, desenvolvido pela Goddard Space Flight Center (GSFC, NASA), foi elaborado a partir de:

- 2.386.000 observações de 3 satélites em 1130 arcos;
- observações laser sobre 11 satélites;
- dados Doppler sobre 4 satélites;
- observações satélite-satélite geosíncrono ATS 6 para o GEOS 3, e
- observações óticas sobre 20 órbitas diferentes.

Para determinação do Mapa Geoidal do Brasil - 1992 (Blitzkow et al.,1993) foi utilizado o modelo acima completo até o grau de ordem 36 x 36, para complementar as informações disponíveis em termos de alturas geoidais por satélite, num total de 521 pontos e consistem de observações Doppler e GPS sobre a rede de nivelamento de alta precisão. Usando as alturas geoidais por satélite e as alturas esferoidais calculadas em blocos de $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ foi traçado a carta geoidal, e os valores estão referenciados ao sistema SAD-69 através dos parâmetros especificados em 5.2.1. O erro absoluto esperado é de 3m e o erro relativo de 1cm/km. Esta versão está disponível ao usuário no Departamento de Geodésia do IBGE, juntamente com o programa de interpolação MAPAGEO versão 1.0 que foi utilizado neste trabalho. Na figura 5.2 apresentamos o mapa geoidal do Brasil correspondente a área delimitada pelo nosso projeto.

FIGURA 5.1 - MAPA GEOIDAL DO BRASIL - 1992 (fonte: IBGE, 1993)



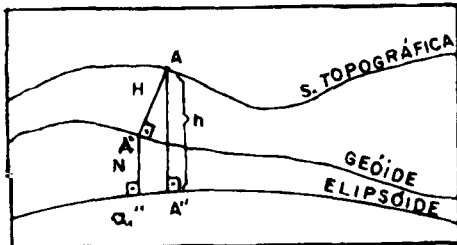
QUADRO 5.2 - ONDULAÇÕES GEOIDAIS GLOBAIS INTERPOLADAS

ESTAÇÃO	LATITUDE (° ‘ “)	LONGITUDE (° ‘ “)	ONDULAÇÃO
335I	-09 23 55	-40 30 02	11.89 m
336B	-09 00 01	-40 16 18	12.74 m
343F	-08 38 44	-40 04 48	13.39 m
343Q	-08 23 19	-39 56 12	13.89 m
344B	-08 12 30	-39 46 14	14.40 m
802U	-08 05 06	-39 36 11	14.90 m
802C	-07 57 20	-39 54 12	14.48 m
801L	-07 52 40	-40 04 39	14.19 m
800X	-07 46 09	-40 15 29	13.86 m
594Z	-07 34 31	-40 31 10	13.32 m
594M	-07 35 36	-40 47 18	12.64 m
594D	-07 43 41	-40 52 52	12.38 m
593V	-07 50 46	-40 51 55	12.37 m
593F	-08 02 14	-41 00 14	11.95 m
595D	-08 12 16	-41 04 58	11.65 m
595Z	-08 30 15	-40 59 42	11.63 m
596T	-08 49 24	-40 49 20	11.75 m
21CS	-08 58 13	-40 43 07	11.85 m
PTU	-09 24 01	-40 30 20	11.88 m

5.2.3 Determinação da Ondulação do Geóide Local

Considerando a figura 5.3 abaixo:

FIGURA 5.3: VERTICAL E NORMAL

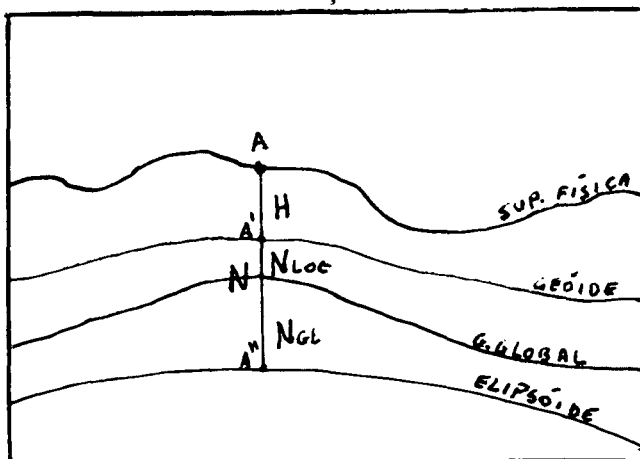


Definindo como altura geométrica ou elipsóidal, a distância AA'' contada sobre a respectiva normal ao elipsóide; e AA' contada sobre a vertical ao geóide. Obviamente em nossos trabalhos não estaremos levando em consideração este fato. Assim, a ondulação geoidal total “N”, de acordo com a figura 5.4 abaixo, podemos escrever:

$$h = N + H \quad (5.1)$$

sendo: $N = N_{gl} + N_{loc} \quad (5.2)$

FIGURA 5.4: ONDULAÇÃO GEOIDAL GLOBAL E LOCAL



formada pelas componentes Ngl - oriunda do mapa geoidal global de referência, e Nloc - a ondulação geoidal local, obtida através da expressão (5.2) levada na (5.1), assim:

$$h = Ngl + Nloc + H \therefore \quad (5.3)$$

$$Nloc = h - H - Ngl \quad (5.4)$$

A partir da expressão (5.4) foram obtidos os valores de Nloc para todas estações rastreadas. No quadro 5.3 apresentamos os valores de Nloc, Ngl, H e h , sendo que “h” obtido das observações GPS foi transformado para o sistema de referência SAD-69.

Objetivando também a determinação dos parâmetros definidores de uma superfície de referência considerando apenas as medições GPS efetuadas sobre a rede de nivelamento e os valores das respectivas altitudes, obtivemos daí a ondulação geoidal dos pontos considerados através da seguinte expressão:

$$N = h_{sad69} - H_{IBGE} \quad (5.5)$$

QUADRO 5.3 - ONDULAÇÕES GEOIDAIS LOCAIS

ESTAÇÃO	h_{sad69} (m)	H_{IBGE} (m)	N (m)	Ngl (m)	Nloc (m)
335I	387.94	377.02	10.92	11.89	-0.97
336B	373.68	362.30	11.38	12.74	-1.36
343F	391.21	378.44	12.77	13.39	-0.62
343Q	431.51	417.71	13.80	13.89	-0.09
344B	423.39	409.01	14.38	14.40	-0.02
802U	403.85	388.74	15.11	14.90	+0.21
802C	428.38	413.60	14.78	14.48	+0.30
801L	468.16	453.11	15.05	14.19	+0.86
800X	516.35	501.66	14.69	13.86	+0.83
594Z	651.86	637.03	14.83	13.32	+1.51
594M	492.23	478.53	13.70	12.64	+1.06
594D	438.96	425.87	13.09	12.38	+0.71
593V	458.03	444.87	13.16	12.37	+0.79
593F	387.69	375.17	12.52	11.95	+0.57
595D	368.35	356.22	12.13	11.65	+0.48
595Z	527.43	515.47	11.96	11.63	+0.33
596T	427.57	416.23	11.34	11.75	-0.41
21CS	415.76	404.37	11.39	11.85	-0.46
498B	367.57	354.31	13.26	13.58	-0.32
497J	363.50	349.98	13.52	14.09	-0.57

A partir desse conjunto discreto de pontos da rede de nivelamento que foi rastreado por GPS, foram elaborados os mapas das isolinhas de ondulações geoidais local e total, cujos dados foram extraídos do quadro 5.3 acima. As interpolações foram efetuadas segundo um polinômio do segundo grau, e estão representados nas figuras 5.5 e 5.6 respectivamente.

FIGURA 5.5 - MAPA DAS ISOLINHAS DO GEÓIDE LOCAL

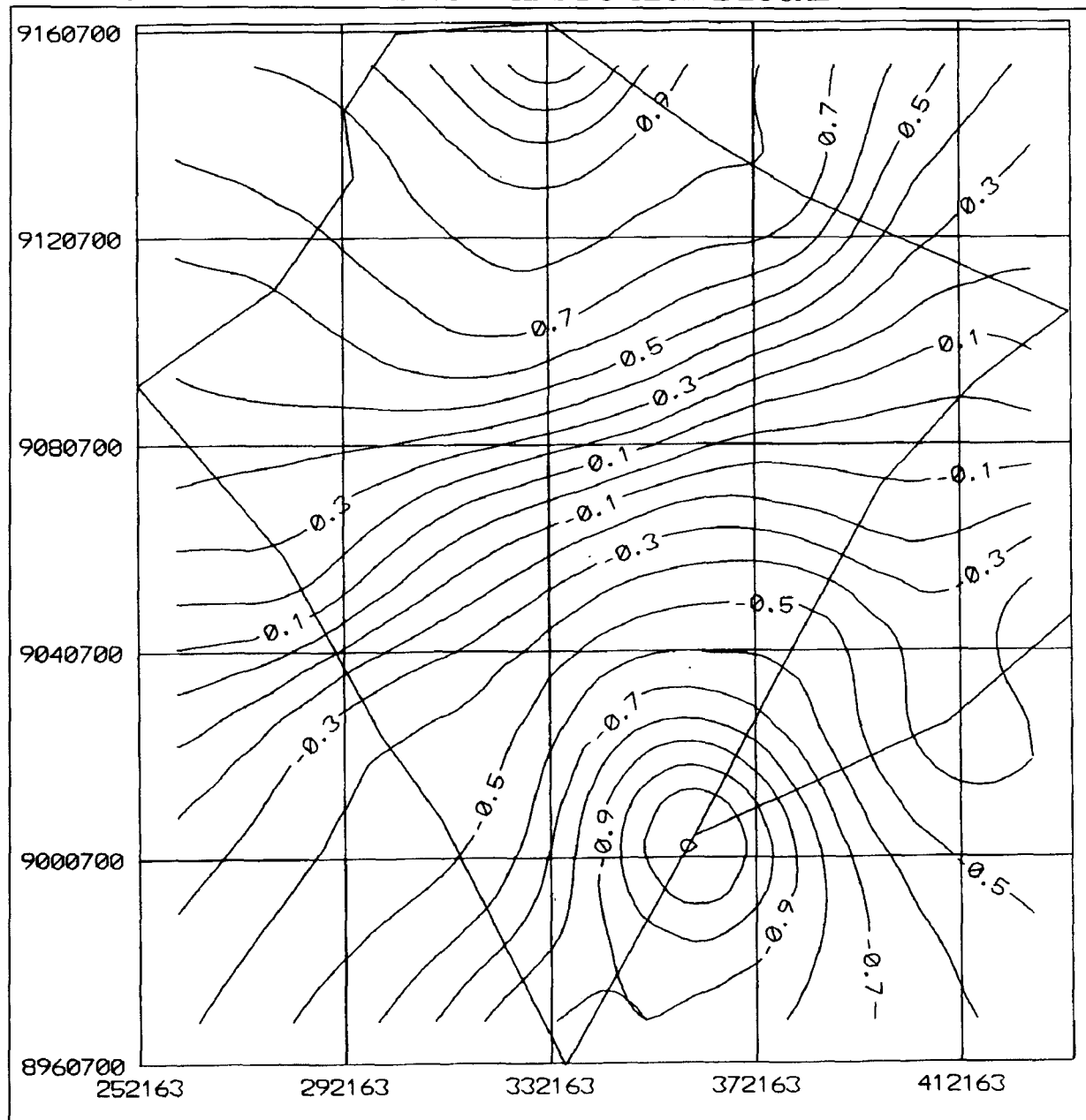
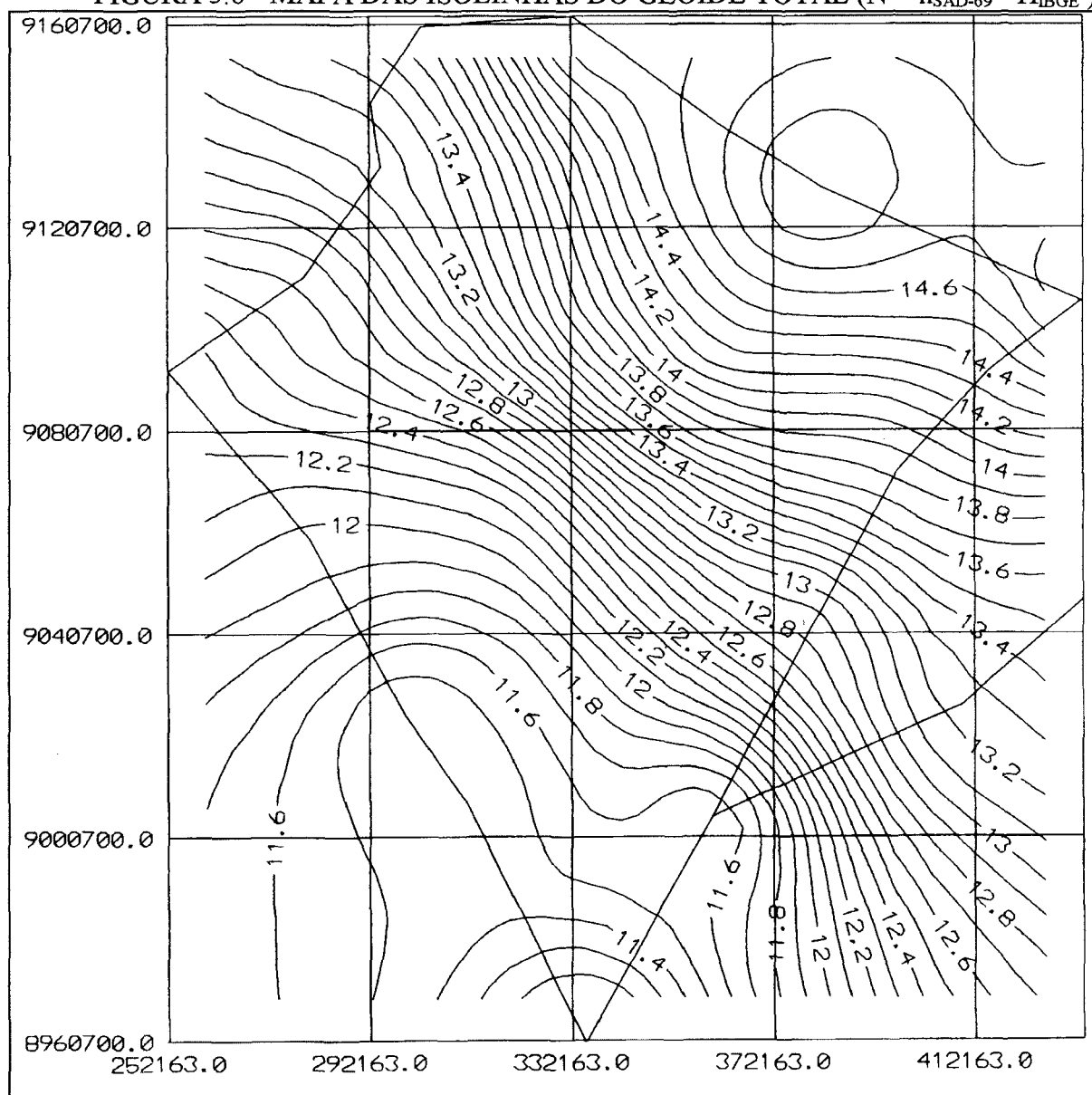


FIGURA 5.6 - MAPA DAS ISOLINHAS DO GEÓIDE TOTAL ($N = h_{\text{SAD-69}} - H_{\text{IBGE}}$)



O mapa geoidal do Brasil para área, apresentou isolinhas com crescimento linear, e com curvas eqüidistantes planimetricamente, no sentido nordeste (figura: 5.2). O mapa de ondulações geoidais gerado a partir do rastreamento de pontos da rede de nivelamento (figura: 5.6), também apresentou suas isolinhas com crescimento no mesmo sentido, mas com curvas bastante diformes; a densidade das linhas na parte central do polígono pode ser causada devido

a inexistência de pontos observados e/ou ao modelo matemático interpolador, consequentemente pouco representativos. O mapa geoidal local apresentou o crescimento das suas isolinhas no sentido noroeste e com curvas, também, bastante diformes.

O que observamos com respeito a esses mapas, é que a composição de dois deles, o mapa da figura 5.2 e o mapa da figura 5.5 retrata um esboço do mapa da figura 5.6, inclusive numericamente, salvo naquelas regiões centrais do polígono que não existia referências de nível para restrear por GPS.

Para contornar essa problemática, no próximo item será determinado os parâmetros de um plano inclinado como uma boa aproximação um geóide de referência local para a área.

5.3 Determinação dos Parâmetros Definidores do “Nloc” para Qualquer Ponto da Área por M.M.Q

A ondulação do geóide local para qualquer ponto de coordenadas conhecidas de uma determinada área, pode ser determinada com a expressão (5.6) (King,1985) quando se conhece seus respectivos parâmetros A, B e C. Esses parâmetros podem ser obtidos a partir do conhecimento de alguns valores de “Nloc” observados e aplicados a um modelo matemático adequado, formando um sistema super abundante de equações. O método aplicado neste trabalho foi o paramétrico linear com resíduos minimizados pelo Método dos Mínimos Quadrados - MMQ (Gemael,1994); (King,1985).

A determinação, por exemplo, de uma superfície quadrática como aproximação de um geóide local de referência é eficaz quando se tem uma distribuição densa e homogênea de pontos sobre a área a ser representada. Nosso modelo matemático escolhido como aproximação da superfície do geóide local de referência foi um plano inclinação, devido a inexistência de pontos na parte central da área.

O modelo matemático foi elaborado a partir das ondulações geoidais locais determinadas a partir da expressão (5.4) e das coordenadas UTM referenciadas ao sistema SAD-69 das estações observadas por GPS, e assim, levadas na equação do plano inclinado:

$$N = AX + BY + C \quad (5.6)$$

onde:

N = valores observados de N_{loc} obtidos a partir de (5.4);

X e Y = coordenadas este e norte respectivamente e

A, B e C = parâmetros a determinar.

Como pode ser visto, as medidas não se processam sobre os parâmetros procurados, estes se vinculam a grandezas que podem ser obtidas diretamente - por ex.: N determinado através de rastreamento GPS e nivelamento. Particularmente, no nosso caso, temos três incógnitas A, B e C , entre si independentes, ligadas a uma única grandeza mensurável “ N ”, através de uma função linear.

Seja dada a seguinte expressão matricial:

$${}_{ne}L_1 = {}_{ne}A_{{}_{np}} {}_{np}X_1 \quad (5.7)$$

onde:

ne - número de equações e

np - número de parâmetros incógnitos a determinar

Considerando L como sendo a matriz vetor das observações - denominada de L_b - é sabido que seus elementos possuem inevitáveis erros em suas medidas, tornando assim um sistema inconsistente, ou seja, as observações L_b não são compatíveis com o modelo matemático acima, carece de correções para remover esta inconsistência (Gemael, 1994).

Assim, podemos dizer que:

$$L = L_b + V \quad (5.8)$$

onde:

L_b - vetor dos valores observados, dimensão $n \times 1$;

V - vetor dos resíduos, dimensão $n \times 1$ e

L_a - vetor dos valores observados ajustados, dimensão $n \times 1$;

levando (5.8) em (5.7) vem:

$$V = A \hat{X} - L_b \quad (5.9)$$

sendo:

A - a matriz dos coeficientes do sistema linear, formada pelas derivadas parciais com relação aos parâmetros - no caso A,B e C - de dimensão $n \times np$;

\hat{X} - vetor dos parâmetros estimados de X , - estes possuem estimativa ótima quando seus elementos incógnitos não são tendenciosos e tem variância mínima, ou seja: $E(\hat{X}) = X$ - não tendenciosa;

Os cálculos dos parâmetros foram obtidos através do programa AJUSTEL.FOR (anexo: 8.2) elaborado em linguagem FORTRAN especificamente para este fim, e nele foram utilizadas algumas sub-rotinas constantes no subprograma PACOTE.FOR (anexo 8.3) - é um conjunto de sub-rotinas multifinalitário, elaborado por alunos do curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR, e é de uso frequente pelos mesmos.

Com os dados especificados no quadro 5.3 os valores encontrados para os parâmetros foram:

$$A = -0.312975449D-05$$

$$B = 0.118006602D-04$$

$$C = -0.105959234D+03$$

as variâncias à priori e à posteriori foram respectivamente:

$$\hat{\sigma}_0^2 = 1.0$$

$$\sigma^2 = 0.062$$

e a matriz variância-covariância dos parâmetros ajustados:

$$MVC = \begin{pmatrix} 0.13406D-11 & 0.54624D-15 & -0.46134D-06 \\ 0.54624D-15 & 0.10429D-11 & -0.94772D-05 \\ -0.46134D-06 & -0.94772D-05 & 0.86280D+02 \end{pmatrix}$$

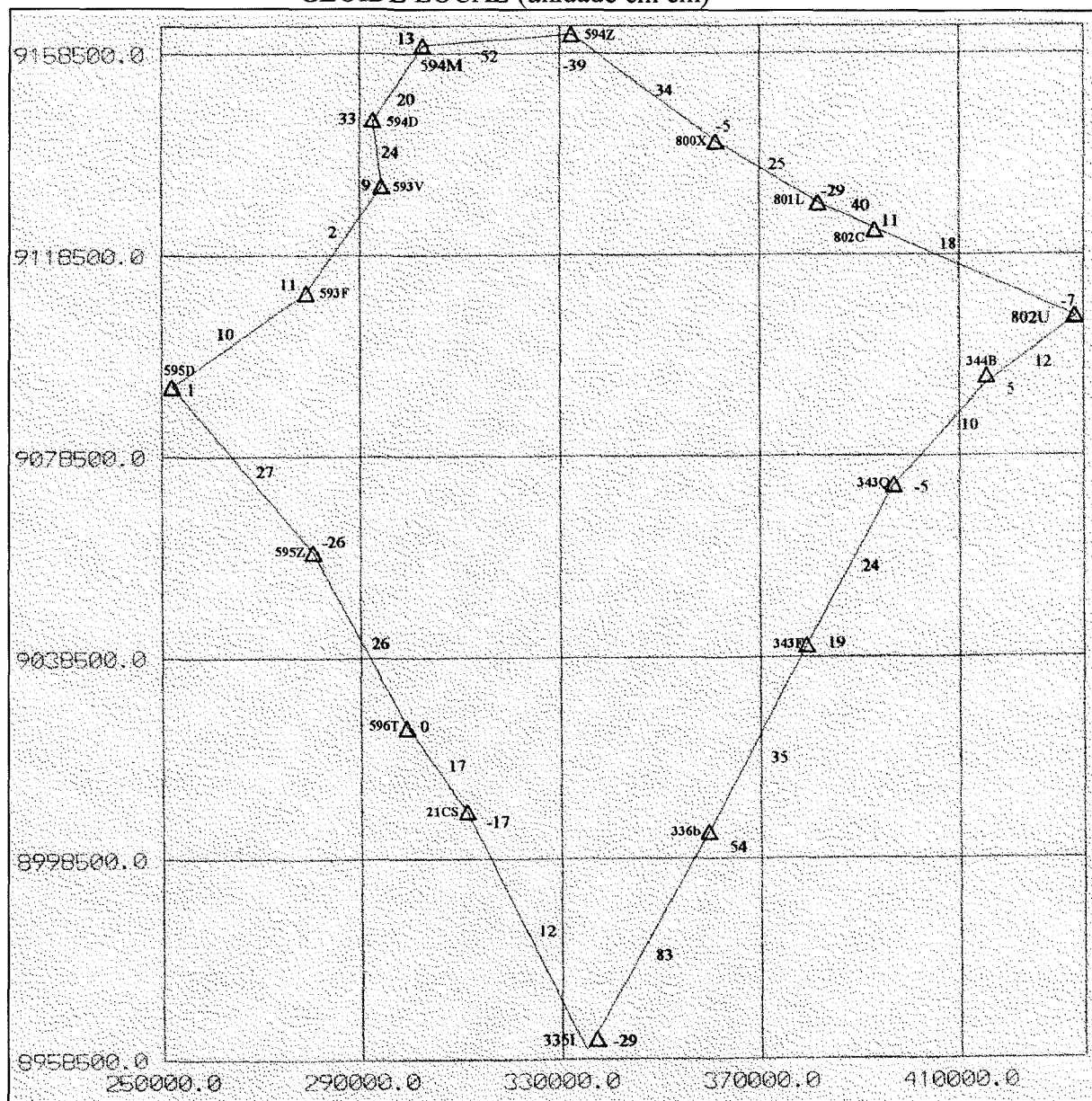
No quadro 5.4 abaixo, apresentamos os valores das ondulações geoidais locais ajustadas, bem como seus respectivos resíduos e os valores observados.

QUADRO 5.4 - RESÍDUOS DOS VALORES OBSERVADOS DA APROXIMAÇÃO DO GEÓIDE LOCAL

ESTAÇÃO	VALOR OBSERVADO (m)	RESÍDUO (m)	VALOR AJUSTADO (m)
335I	-0.97	-0.29	-1.26
336B	-1.36	0.54	-0.82
343F	-0.62	0.19	-0.43
343Q	-0.09	-0.05	-0.14
344B	-0.02	0.06	0.04
802U	0.21	-0.07	0.14
802C	0.30	0.12	0.42
801L	0.86	-0.29	0.58
800X	0.83	-0.05	0.78
594Z	1.51	-0.39	1.12
594M	1.06	0.13	1.19
594D	0.71	0.33	1.05
593V	0.79	0.09	0.89
593F	0.57	0.11	0.68
595D	0.48	0.01	0.49
595Z	0.33	-0.26	0.07
596T	-0.41	0.00	-0.41
21CS	-0.46	-0.17	-0.63

A figura 5.6 apresenta a distribuição dos resíduos, em centímetros, dos pontos das estações observadas os quais participaram do processo de detetminção dos parâmetros definidores da superfície de referência.

FIGURA 5.7 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DA APROXIMAÇÃO DO GEÓIDE LOCAL (unidade em cm)



No anexo (8.2) encontram-se:

- Programa Fonte: (elaborado em linguagem FORTRAN)

- nome do programa: AJUSTEL.FOR, calcula os parâmetros A, B e C no modo paramétrico linear, onde os valores observados de N_{LOC} são obtidos levando em consideração: as ondulações geoidais globais - oriundas do mapa geoidal do Brasil -; as ondulações geoidais totais obtidas pela subtração da altura elipsoidal do cálculo GPS, transformada para o sistema SAD-69 e subtraída da altitude ortométrica do respectivo ponto.

- Arquivo de Entrada de Dados:

- na 1^a linha é lido apenas o n° de estações;
- da 2^a linha em diante são lidos, cada estação, nesta ordem e na mesma linha:
 - nome da estação (quatro dígitos alfanumérico);
 - espaço;
 - coordenada UTM este (dez dígitos numéricos na forma 123456.789);
 - espaço;
 - coordenada UTM norte (onze dígitos numéricos na forma 1234567.890);
 - espaço;
 - altitude elipsóidal com relação ao SAD69 (seis dígitos numéricos na forma 123.45);
 - espaço;
 - altitude ortométrica, oriunda do nivelamento geométrico (oito dígitos numéricos na forma 123.5678);
 - espaço, e
 - a ondulação geoidal global, retirada do mapa geoidal do Brasil (cinco dígitos numéricos na forma 12.45).

- Saída do Resultados:

os parâmetros transformadores A,B e C para qualquer ponto da área;

variância à priori;

variância à posteriori;

matriz variância-covariância;

os valores observados;

os resíduos e

os valores observados ajustados.

Os parâmetros A, B e C são os coeficientes determinantes da aproximação das ondulações geoidais locais como um plano inclinado, bastando para determiná-las possuir as coordenadas UTM de um ponto qualquer situado na região considerada e aplicar a fórmula (5.6). No próximo capítulo apresentaremos procedimentos para determinação da altitude ortométrica e/ou diferença de altitude utilizando esta componente, sendo necessário apenas que se tenha efetuado observações GPS nos pontos que se deseje obter as altitudes ou suas diferenças.

5.3.1 Determinação dos Parâmetros Definidores de “Ntotal” como um Plano Inclinado.

Analogamente ao item 5.3, com a observação de que os elementos da matriz “L” dos valores observados são obtidos a partir da determinação “N” calculado diretamente do “h” GPS levado ao SAD69 das estações de rede de nivelamento, assim a respectiva matriz é formada pelos elementos da coluna N quadro 5.3.

assim a expressão (5.6):

N = valores observados de N obtidos a partir de (5.5);

X e Y = coordenadas este e norte respectivamente e

A, B e C = parâmetros a determinar,

e as expressões matriciais A , L e X envolvidas a partir de (5.7), com os mesmos n e np , uma vez que o campo de prova é o mesmo:

$$A = \begin{pmatrix} \frac{\partial N_1}{\partial A} & \frac{\partial N_1}{\partial B} & \frac{\partial N_1}{\partial C} \\ \frac{\partial N_2}{\partial A} & \frac{\partial N_2}{\partial B} & \frac{\partial N_2}{\partial C} \\ \frac{\partial N_3}{\partial A} & \frac{\partial N_3}{\partial B} & \frac{\partial N_3}{\partial C} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial N_{18}}{\partial A} & \frac{\partial N_{18}}{\partial B} & \frac{\partial N_{18}}{\partial C} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_1 & Y_1 & 1 \\ X_2 & Y_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{18} & Y_{18} & 1 \end{pmatrix}$$

$$L = \begin{pmatrix} N_1 \\ N_2 \\ N_3 \\ \vdots \\ N_{18} \end{pmatrix}$$

$$X = \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix}$$

O programa utilizado foi o AJUSTEG.FOR, semelhantemente ao programa AJUSTEL.FOR é apresentado, no anexo (8.4).

Com os dados especificados no quadro 5.3, foram obtidos os seguintes resultados:

- valores estimados de A , B e C

$$A = 0.164627819D-04$$

$$B = 0.191003091D-04$$

$$C = -0.166001108+03$$

- valores das variâncias à priori e à posteriori respectivamente:

$$\hat{\sigma}_0^2 = 1.0$$

$$\sigma^2 = 0.076$$

- a matriz variância-covariância:

$$MVC = \begin{pmatrix} 0.16638D-11 & 0.67793D-15 & -0.57256D-06 \\ 0.67793D-15 & 0.12943D-11 & -0.11762D-04 \\ -0.57256D-06 & -0.11762D-04 & 0.10708D+03 \end{pmatrix}$$

- o quadro 5.5 com os valores de N ajustados:

**QUADRO 5.5 - RESÍDUOS DOS VALORES OBSERVADOS
DA APROXIMAÇÃO DO GEÓIDE TOTAL**

ESTAÇÃO	VALOR OBSERVADO (m)	RESÍDUO (m)	VALOR AJUSTADO (m)
335I	10.92	-0.25	10.67
336B	11.38	0.55	11.92
343F	12.78	0.25	13.02
343Q	13.80	0.02	13.82
344B	14.38	0.12	14.50
802U	15.11	-0.05	15.07
802C	14.78	0.02	14.80
801L	15.05	-0.41	14.64
800X	14.69	-0.15	14.54
594Z	14.83	-0.36	14.47
594M	13.70	0.24	13.95
594D	13.09	0.40	13.49
593V	13.16	0.11	13.27
593F	12.52	0.09	12.62
595D	12.13	-0.01	12.12
595Z	11.96	-0.31	11.65
596T	11.34	-0.05	11.29
21CS	11.39	-0.22	11.17

Diagram of a trapezoidal channel cross-section. The top width is 24 ft, the bottom width is 60 ft, and the height is 59.42 ft. The side slopes are 36 ft horizontal to 1 ft vertical. The channel is labeled "504 M".

Os resultados apresentados nos dois procedimentos foram semelhantes, a variância diferiu de uma unidade de centésimo, os resíduos dos valores observados de N_{LOC} mostram-se um pouco menores. A escolha do melhor conjunto de parâmetros A, B e C, sob o ponto de vista de menor ruído, é o conjunto dos valores observados oriundos das ondulações geoidais locais, assim, a escolha fica evidente.

A seguir apresentamos os mapas das isolinhas, da melhor aproximação do geóide como um plano inclinado de referência para toda área do projeto. Foi elaborado para o geóide local (figura 5.9) e para o geóide total (figura 5.10). Acreditamos ser de utilidade prática, uma vez que o usuário pode obter os valores das respectivas ondulações por simples interpolação gráfica.

FIGURA 5.9 - MAPA DAS ISOLINHAS - MELHOR APROXIMAÇÃO DO GEÓIDE LOCAL DE REFERÊNCIA COMO UM PLANO (unidade em metros)

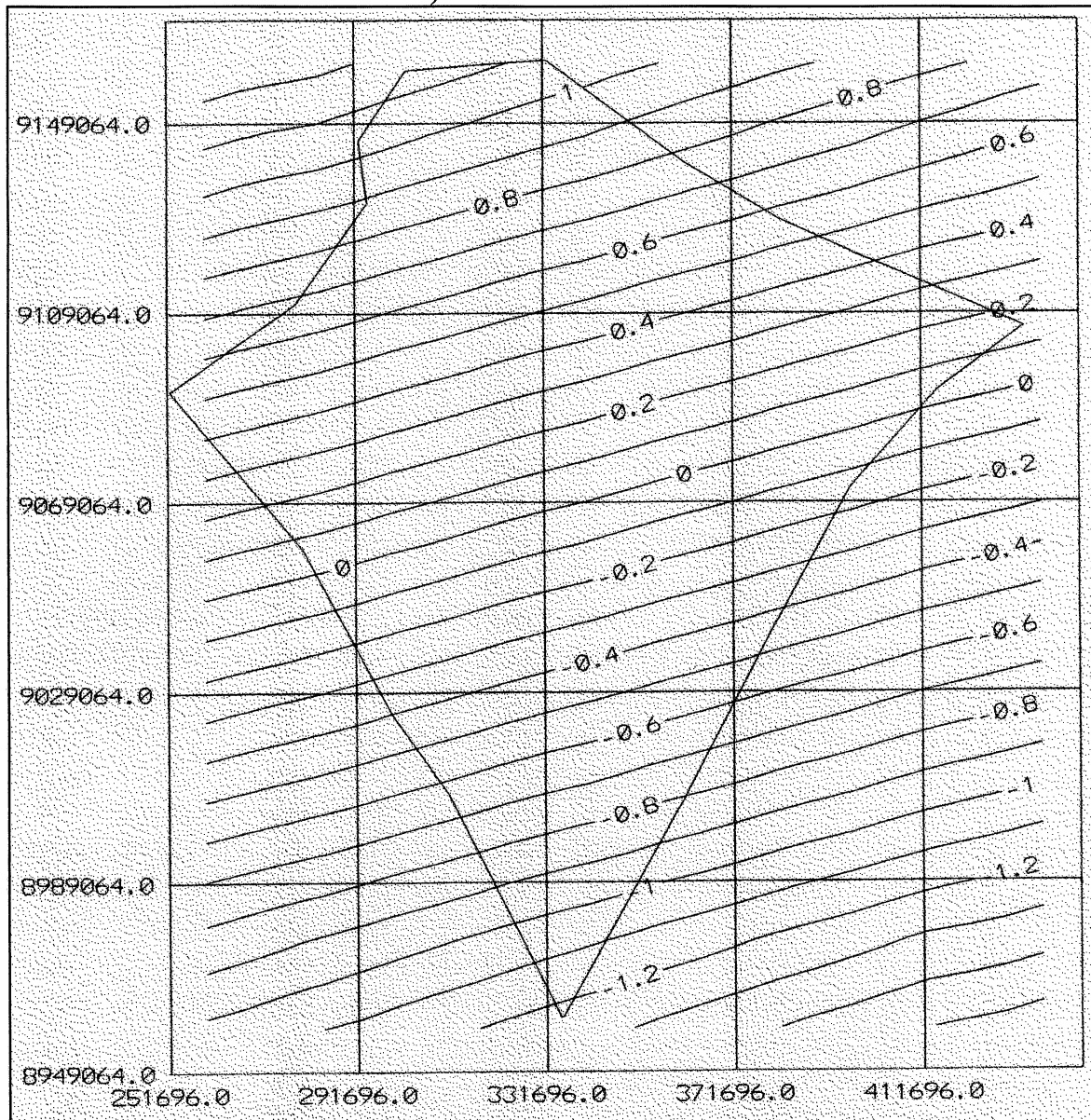
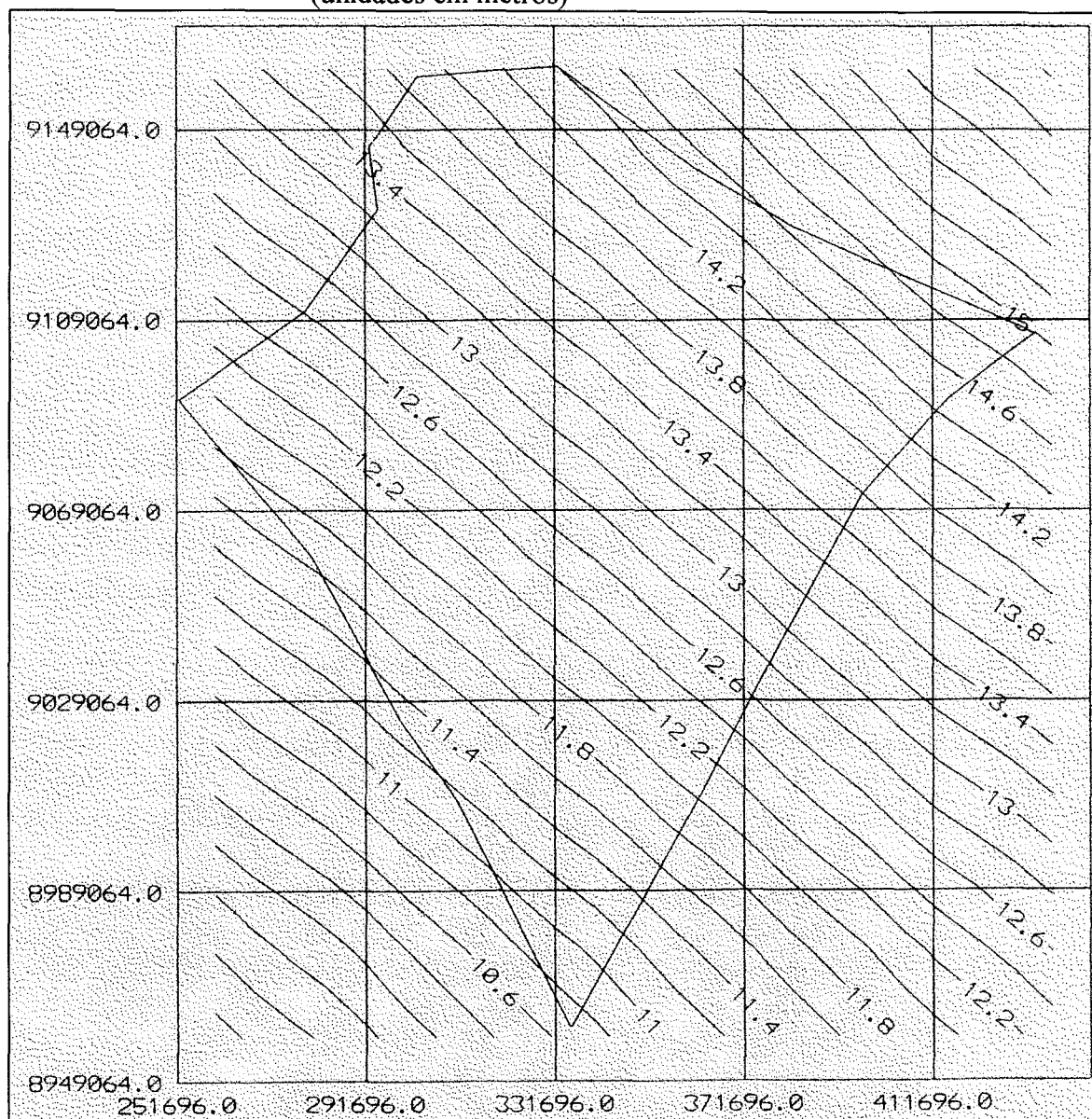


FIGURA 5.10 - MAPA DAS ISOLINHAS - MELHOR APROXIMAÇÃO DO
GEÓIDE TOTAL DE REFERÊNCIA COMO UM PLANO
(unidades em metros)



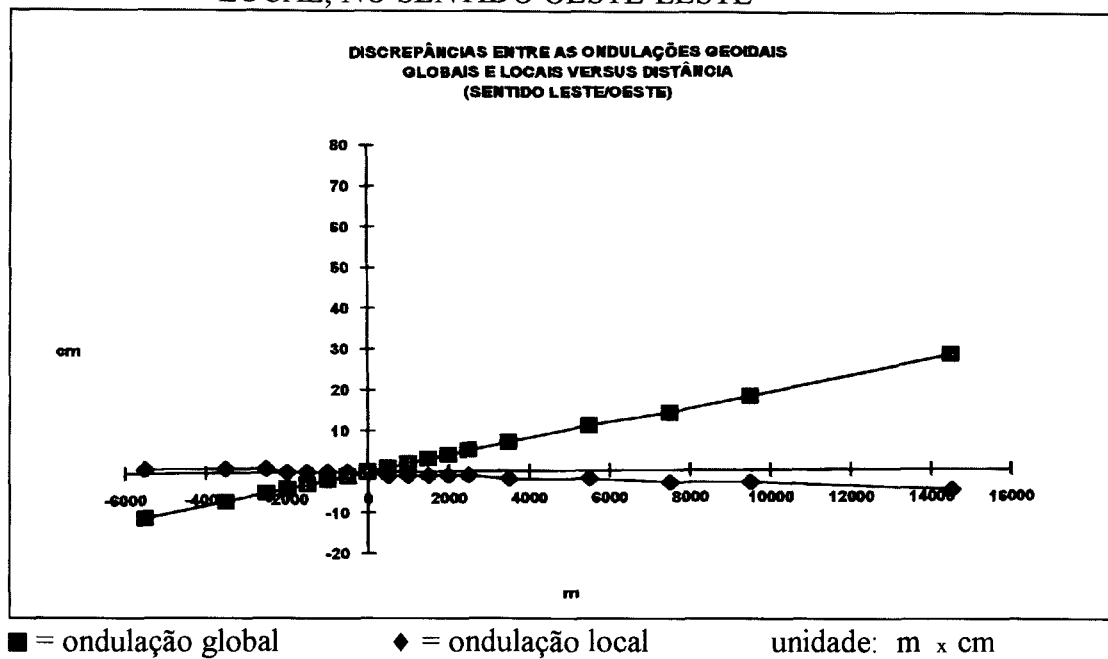
5.4 Investigação do Comportamento da Representação do Geóide Global com o Geóide Local para Distâncias Curtas.

Nossa investigação se deu a partir da estação 802C, situada no lado superior do polígono (fig. 5.7) , e foi desenvolvida nos sentidos leste-oeste e norte-sul. Primeiro fixamos a coordenada norte, e distribuimos 22 pontos em intervalos variando de 500 a 5000 metros numa extensão de 30Km no sentido leste-oeste, e determinadas suas respectivas ondulações geoidais com o programa interpolador INTERLOC.FOR (anexo: 8.5). Posteriormente fixamos, da mesma estação, a coordenada este e distribuimos 11 pontos também em intervalos de 500 a 5000 metros, onde, também, foram determinadas suas ondulações. Com os valores das ondulações geoidais oriundas da interpolação do Mapa Geoidal do Brasil, e os valores das ondulações geoidais totais, obtidas a partir das ondulações geoidais locais, que são as discrepâncias entre as duas superfícies, foram elaborados os respectivos gráficos.

Os gráficos abaixo apresentam as discrepâncias entre as ondulações geoidais globais e as componentes locais versus distância, nos sentidos leste-oeste e norte-sul respectivamente:

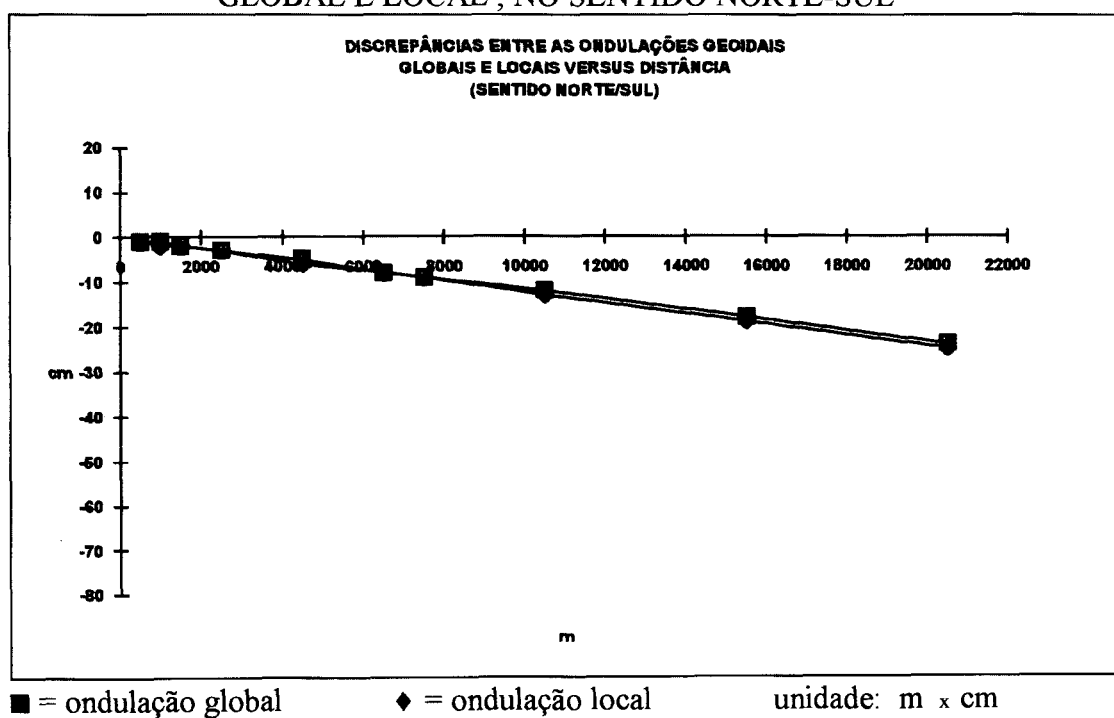
No sentido leste-oeste:

FIGURA 5.11 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS ONDULAÇÕES GLOBAL E LOCAL, NO SENTIDO OESTE-LESTE



No sentido norte-sul:

FIGURA 5.12 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS ONDULAÇÕES DO GEÓIDE GLOBAL E LOCAL, NO SENTIDO NORTE-SUL



A partir da estação 802C fizemos a investigação - com 33 pontos distribuídos conforme expresso no parágrafo acima - do comportamento das ondulações geoidais globais e as ondulações locais. Podemos observar que no sentido oeste-leste os valores das ondulações globais cresceram linearmente e no sentido norte-sul decresceram, enquanto que os valores das ondulações locais, no sentido oeste-leste e no sentido norte-sul decresceram, também linearmente. Comparando o comportamento dos gráficos com os mapas das isolinhas das figuras 5.2 e 5.9 podemos confirmar fidelidade da representação gráfica com os mapas. Pelos gráficos pode ser constatado também que o mapa das isolinhas do geoide total (figura 5.10) representa a resultante da composição dos outros dois (fig. 5.2 e fig.5.9).

No próximo capítulo serão efetuadas algumas aplicações do que expomos até o presente.

6 DETERMINAÇÃO DAS ALTITUDES E DIFERENÇAS DE NÍVEL

As observações GPS fornecem as coordenadas cartesianas (x , y e z) - referenciadas ao geocentro terrestre - ou coordenadas geodésicas tridimensionais (φ , λ e h) - relacionadas a um elipsóide particular, o WGS-84 (World Global System 84) - onde “ h ” é a altura do ponto considerado à superfície deste elipsóide, e permite que suas coordenadas possam ser transformadas e referenciadas a outros modelos, como, por exemplo, o SAD-69 (South American Datum) usado no Brasil.

A altura elipsoidal é uma grandeza puramente matemática (Seeber, 1994), não tem significado físico, portanto, não se presta para a maioria das aplicações de engenharia que necessita de altitudes referidas a uma superfície geopotencial ou geóide, que são estas que definem o sentido do fluxo das massas líquidas. Com o advento do GPS a obtenção de “ h ” tornou-se óbvia e pesquisas são desenvolvidas para que a médio prazo se possa obter altitudes ortométricas a baixo custo - quando comparadas com nivelamento geométrico clássico - a partir do conhecimento da altura elipsoidal de uma superfície geoidal de referência bem determinada. Assim, a partir da expressão fundamental:

$$h = N + H$$

onde:

h = altura elipsoidal;

N = ondulação geoidal e

H = altitude ortométrica.

isto é:

- com a altura geoidal ou ondulação do geóide conhecida com boa precisão, a altitude ortométrica pode ser obtida indiretamente através da determinação de “ h ” por

observações GPS, podendo, em muitos casos substituir o nivelamento geométrico clássico;

- com informações precisas relativas a uma rede de nivelamento e com alturas elipsoidais obtidas com GPS, as ondulações geoidais podem ser controladas ou determinadas, para uma área limitada da superfície terrestre.

6.1 Metodologia para Determinação da Altitude H e da Diferença de Nível Considerando “ N_{loc} ”

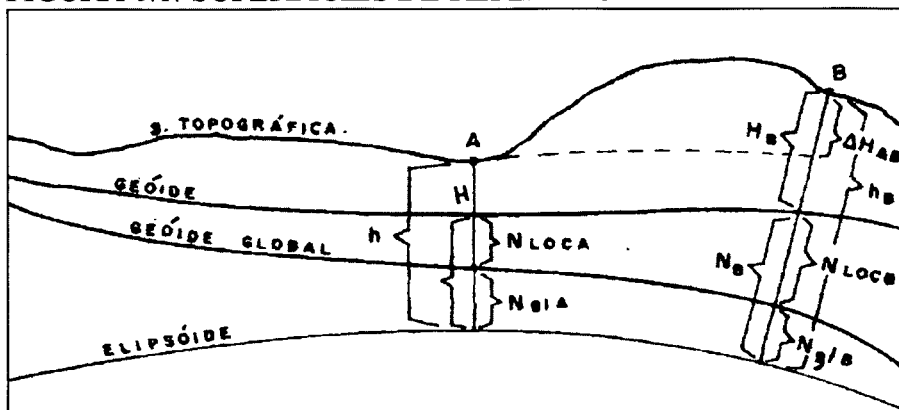
Agora que temos o conhecimento da superfície geoidal de referência para região, estamos em condições de, com simples observações GPS sobre pontos da área considerada, determinar suas altitudes e/ou diferenças de níveis entre pontos.

Com esta metodologia precisamos apenas transformar as coordenadas WGS-84 oriundas do rastreo GPS para o sistema SAD-69, e deste para coordenadas UTM. Entrando com os valores das coordenadas UTM e a altura elipsoidal num programa específico, no final teremos as respectivas altitudes e diferenças de nível, veja a seguir.

De conformidade com o exposto, detalhamos a seguir a relação entre “ h ”, “ H ” e “ N ”.

Sejam A e B dois pontos da superfície física da terra e nestes estejam envolvidos os seguintes parâmetros relativos às superfícies de referência:

FIGURA 6.1: SUPERFÍCIES DE REFERÊNCIA



onde:

H_A	- valor conhecido	- altitude ortométrica, obtida do nivelamento;
h_A	- valor conhecido	- altitude elipsoidal, obtida através de levantamento GPS;
N_{gl_A}	- valor conhecido	- ondulação geoidal global, obtida da interpolação do Mapa Geoidal do Brasil, (Blitzkow,1992)
N_{loc_A}	- valor conhecido	- ondulação geoidal local, obtida da interpolação utilizando o programa INTERLOC.FOR (anexo 8.5), e os parâmetros do item 5.3, e
N_A	- calculado	- ondulação geoidal total do ponto A , obtida através dos valores de N_{gl_A} e N_{loc_A} .
H_B	- a calcular	- ponto em que se deseja determinar a altitude;
h_B	- conhecido	- altitude elipsoidal, obtido de GPS;
N_{gl_B}	- conhecido	- ondulação global no ponto;
N_{loc_B}	- conhecido	- ondulação local no ponto, e
N_B	- calculado	- ondulação geoidal em B.

sejam:

$$h_A = H_A + N_A \quad (6.1)$$

$$N_A = N_{gl_A} + N_{loc_A} \quad (6.2)$$

e:

$$h_B = H_B + N_B \quad (6.3)$$

$$N = N_{gl_B} + N_{loc_B} \quad (6.4)$$

fazendo:

$$h_B - h_A = (H_B + N_B) - (H_A + N_A) = (H_B - H_A) + (N_B - N_A) \quad (6.5)$$

levando (6.2) e (6.4) em (6.5) vem:

$$h_B - h_A = (H_B - H_A) + (Ngl_B - Ngl_A) + (Nloc_B - Nloc_A)$$

$$(H_B - H_A) = (h_B - h_A) - (Ngl_B - Ngl_A) - (Nloc_B - Nloc_A) \quad (6.6)$$

obtém-se a altitude ortométrica para o ponto B:

$$H_B = H_A + (h_B - h_A) - (Ngl_B - Ngl_A) - (Nloc_B - Nloc_A) \quad (6.7)$$

E a variação de altura ou o desnível pode ser determinado com a seguinte relação:

$$\Delta H_{AB} = \Delta h_{AB} - \Delta Ngl_{AB} - \Delta Nloc_{AB} \quad (6.8)$$

Então, com as expressões (6.7) e (6.8), foram determinadas as altitudes e diferença de nível, com relação ao ponto 802U, usando o programa HNLOC.FOR (anexo 8.7) para as 17 estações pertencentes ao conjunto de pontos definidores dos parâmetros A, B e C da superfície de referência e mais dois pontos 498B e 497J (quadro 6.1) da rede de nivelamento do IBGE, rastreados por GPS com o objetivo de pesquisá-los.

QUADRO 6.1 - IDENTIFICAÇÃO DAS ESTAÇÕES 498B E 497J

DISCRIMINAÇÃO	ESTAÇÃO - 498B	ESTAÇÃO - 497J
COORDENADAS SAD-69	$\varphi = -08^{\circ} 48' 18.69''$ $\lambda = -39^{\circ} 49' 20.16''$ $h = 367.57 \text{ m}$	$\varphi = -08^{\circ} 37' 06.40''$ $\lambda = -39^{\circ} 36' 04.81''$ $h = 363.50 \text{ m}$
COORDENADAS UTM _{SAD69}	$E = 409.570,30\text{m}$ $N = 9.026.582,58\text{m}$	$E = 433.835,65\text{m}$ $N = 9.047.275,70 \text{ m}$
ALTITUDE ORTOMÉTRICA (IBGE)	$H = 354,31\text{m}$	$H = 349,98\text{m}$
ONDULAÇÃO GEOIDAL GLOBAL		

(interpolado do mapa geoidal do Brasil-92)	$N_{gl} = 13.58m$	$N_{gl} = 14.09m$
ONDULAÇÃO GEOIDAL LOCAL (observada) $N_{loc} = h_{SAD69} - H - N_{gl}$	$N_{loc_{obs}} = -0.32m$	$N_{loc_{obs}} = -0.57m$
ONDULAÇÃO GEOIDAL LOCAL (calculada com os parâmetros A, B e C)	$N_{loc} = -0.72m$	$N_{loc} = -0.55m$
ONDULAÇÃO GEOIDAL TOTAL (observada) $N = h_{SAD69} - H$	$N_{tot} = 13.26m$	$N_{tot} = 13.52m$
ONDULAÇÃO GEOIDAL TOTAL (calculada com os parâmetros A,B e C correspondente)	$N_{tot} = 13.14m$	$N_{tot} = 13.92m$

O quadro 6.2 abaixo apresenta os cálculos das altitudes e dos desníveis efetuados com os dois pontos.

QUADRO 6.2- CÁLCULO DA ALTITUDE USANDO OS PARÂMETROS DO GEÓIDE LOCAL

ESTAÇÃO i	ONDULAÇÃO LOCAL (m)	ALTITUDE ORTOMÉTRICA (m)	DIFERENÇA DE NÍVEL (m)
335I	-1.27	377.25	-11.49
336B	-0.82	361.69	-27.04
343F	-0.42	378.17	-10.56
343Q	-0.14	417.69	28.95
344B	0.04	408.88	20.14
802C	0.42	413.41	24.68
801L	0.58	453.32	64.59
800X	0.78	501.64	112.90
594Z	1.12	637.35	248.61
594M	1.19	478.33	89.59
594D	1.05	425.46	36.73
593V	0.89	444.70	55.97
593F	0.68	374.99	-13.75

595D	0.49	356.14	-32.60
595Z	0.07	515.66	126.92
596T	-0.41	416.15	27.42
21CS	-0.63	404.47	15.74
498B	-0.72	354.71	-34.03
397J	-0.55	349.95	-38.79

No resultado dos cálculos acima a ondulação local dos pontos que fizeram parte da determinação dos parâmetros A, B e C (quadro 5.5) têm os mesmos valores das observações ajustadas.

Analisando os resultados dos cálculos dos pontos 498B e 497J, pode-se verificar que os mapas das isolinhas do geóide local (figura 5.5) e o mapa das isolinhas da melhor aproximação do geóide local de referência (figura 5.9) apresentaram razoável coerência entre seus resultados numéricos com os valores gráficos, observe!.

6.1.1 Análise da Precisão

Nossa pesquisa se deu sobre os pontos da rede de nivelamento utilizada para obtenção dos parâmetros definidores da superfície, com o propósito de comparar as discrepâncias entre o nivelamento geométrico da rede oficial - IBGE e CODEVASF - e o nivelamento efetuado com o auxílio do GPS.

Considerando como verdadeiros, portanto como fixos, os valores fornecidos pelo nivelamento geométrico de alta precisão, fizemos uma investigação comparando os resultados calculados utilizando as ondulações globais e locais, a partir dos resultados obtidos pelo quadro 6.2, cujos valores compõem o quadro 6.3.

QUADRO 6.3 - COMPARAÇÃO ENTRE “H” CALCULADA E “H” DO IBGE CONSIDERANDO N_{loc}

PONTO i	DISTÂNCIA (m)	NIV _{IBGE} (1) (m)	NIV _{CALC} (2)(m)	Δ (2-1)(m)
335I	175695	377.02	377.25	+0.22
336B	125270	362.30	361.70	-0.61
343F	81267	378.44	378.17	-0.26

343Q	49790	417.71	417.69	-0.02
344B	22977	409.01	408.88	-0.13
802U*	REFERÊNCIA	388.76	388.76	0.00
802C	36049	413.60	413.41	-0.18
801L	157096	453.11	453.32	+0.22
800X	80235	501.66	501.64	-0.02
594Z	115714	637.03	637.35	+0.32
594M	105539	478.53	478.3286	-0.20
594D	146359	425.87	425.56	-0.40
593V	141635	444.87	444.7029	-0.16
593F	154499	375.17	374.99	-0.18
595D	163609	356.22	356.14	-0.08
595Z	160201	515.47	515.66	-0.19
596T	157147	416.23	416.15	+0.07
21CS	157090	404.37	404.47	+0.10

onde:

DISTÂNCIA - É distância entre o ponto observado por GPS e a estação de referência 802U;

NIV_{IBGE} - é a altitude “H” dos pontos da rede de nivelamento de precisão, extraído das publicação dos respectivos órgãos; (IBGE - CODEVASF)

$NIV_{calc.}$ - é o nivelamento efetuado com os parâmetros A, B e C da aproximação do geóide local como um plano, e

Δ - é a discrepância entre o nivelamento do IBGE e o nivelamento calculado considerando os parâmetros A, B e C do geóide local como um plano.

O resultado de Δ foi tratado estatisticamente e determinado o respectivo desvio padrão de uma observação isolada entre as altitudes obtidas pelos órgãos oficiais (IBGE-CODEVASF) e as altitudes determinadas por GPS, considerando os argumentos N_{gl} e N_{loc} .

Assim:

para altitude H:

$$\sum_{i=1}^n \Delta_i = -1.51 \text{ m}$$

e:

$$|\bar{\Delta}| = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta_i|}{n} = \frac{3.36}{17} = 0.20 \text{ m}$$

com:

$$\sigma_{\Delta i} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{0.8790037}{16}} = \pm 0.23 \text{ m}$$

$$|D\bar{\Delta}| = \frac{\sum_{i=1}^n |D\Delta_i|}{n} = \frac{4.71}{18} = 0.26 \text{ m}$$

onde:

$|\bar{\Delta}|$ - média dos valores absolutos das discrepâncias;

$\sigma_{\Delta i}$ - é o valor do desvio padrão de uma discrepância isolada entre as altitudes da rede oficial e as altitudes obtidas via GPS, considerando argumentos do geóide contidas na coluna 5 do quadro 6.3 acima;

n - o número de estações.

ΔD_i - é a discrepância entre dois pontos consecutivos

$|\bar{\Delta D_i}|$ - média das discrepância entre pontos vizinhos

A média dos valores absolutos das discrepâncias apresentou 3 unidades de centímetros a menos em relação ao desvio padrão, e este de 3 cm da média das discrepância entre pontos vizinhos, no entanto, indicando precisão na ordem de 20cm.

6.2 Metodologia para Determinação da Altitude e Diferença de Nível sem as Considerações dos Argumentos Ngl e Nloc

Consideramos para este caso a ondulação geoidal aplicada nos cálculos como sendo a àquela obtida a partir dos parâmetros definidores A, B e C determinados no quadro

5.3. Assim a expressão (6.7), por analogia, pode ser escrita:

$$H_B = H_A + (h_B - h_A) - (N_{TotB} - N_{TotA}) \quad (6.8)$$

onde:

N_{tot} - é a ondulação geoidal do ponto, obtida no item 5.3

e o desnível “ Δ ”, analogamente, pode ser determinado com a seguinte equação:

$$\Delta H_{AB} = \Delta h_{AB} - \Delta N_{AB} \quad (6.9)$$

Então, com as expressões (6.8) e (6.9), para estação de referência 802U e utilizando o programa HNTOT.FOR (anexo 8.8), foram calculadas as altitudes e diferenças de nível, semelhantemente ao item 6.1 determinou-se as alturas e diferenças de nível (quadro 6.4):

QUADRO 6.4 - CÁLCULO DA ALTITUDE COM OS PARÂMETROS DO GEÓIDE TOTAL

ESTAÇÃO i	ONDULAÇÃO TOTAL (m)	ALTITUDE ORTOMÉTRICA (m)	DIFERENÇA DE NÍVEL (m)
335I	10.67	377.22	-11.51
336B	11.92	361.71	-27.03
343F	13.02	378.14	-10.59
343Q	13.82	417.64	28.91
344B	14.50	408.84	20.11
802U _(referência)	15.07	388.76	00.00
802C	14.80	413.54	24.80
801L	14.64	453.47	64.74
800X	14.54	501.76	113.03
594Z	14.47	637.34	248.60
594M	13.95	478.24	89.50
594D	13.49	425.42	36.69

593V	13.27	444.71	55.98
593F	12.62	375.03	-13.71
595D	12.12	356.18	-32.55
595Z	11.65	515.73	127.00
596T	11.29	416.23	27.49
21CS	11.17	404.54	15.80
498B	13.14	354.43	-34.31
497J	13.92	349.58	39.16

Na coluna 2 estão contidas as ondulações obtidas por simples interpolação, utilizando o programa INTERTOT.FOR (anexo 8.6) na coluna 3 e 4 os resultados do cálculos efetuados com o programa HNTOT.FOR (anexo 8.7) com os valores das altitudes ortométricas e as diferenças de nível com relação a estação 802U respectivamente

Com relação aos cálculos dos pontos 498B e 397J o comportamento dos mesmos, relativamente aos seus respectivos mapas de isolinhas de ondulação total (figura: 5.6) e de melhor aproximação do geóide total como um plano (figura: 5.9)

6.2.1 Análise da Precisão

Com os valores das altitudes ortométricas calculados e apresentados nas colunas 3 do quadro 6.4, foi elaborado o quadro 6.5 abaixo:

QUADRO 6.5: COMPARAÇÃO ENTRE “H” CALCULADA E “H” DO IBGE CONSIDERANDO N_{total}

PONTO i	DISTÂNCIA (m)	NIV _{IBGE} (1) (m)	NIV.CALC (2)(m)	Δ (2)-(1)
335I	175695	377.02	377.22	+0.20
336B	125270	362.30	361.71	-0.59
343F	81267	378.44	378.14	-0.29
343Q	49790	417.71	417.64	-0.07
344B	22977	409.01	408.84	-0.17
802U*	REFERÊNCIA	388.76	388.76	0.00
802C	36049	413.60	413.54	-0.06
801L	157096	453.11	453.47	+0.37
800X	80235	501.66	501.76	+0.10
594Z	115714	637.03	637.34	+0.31
594M	105539	478.53	478.24	-0.29

594D	146359	425.87	425.42	-0.45
593V	141635	444.87	444.71	-0.16
593F	154499	375.17	375.03	-0.14
595D	163609	356.22	356.18	-0.04
595Z	160201	515.47	515.73	+0.26
596T	157147	416.23	416.23	+0.00
21CS	157090	404.37	404.54	+0.17

onde:

DISTÂNCIA - É distância entre o ponto observado por GPS e a estação de referência
- 802U;

NIV._{IBGE} - é a altitude “H” dos pontos da rede de nivelamento de precisão, extraído
das publicação dos respectivos órgãos; (IBGE - CODEVASF);

NIV_{calc.} - é o nivelamento efetuado sem os argumentos Ngl e Nloc;

Δ - é a discrepância entre o nivelamento do IBGE e o nivelamento calculado
com o argumento de Ntot

Semelhantemente ao item 6.1.1 foi dado o tratamento estatístico aos resultados, a fim
de obter os desvios padrão de uma observação isolada, sem as considerações dos argumentos
Ngl e Nloc do geóide. Assim:

para a altitude H teremos:

$$\sum_{i=1}^n \Delta_i = -0.8326$$

$$|\bar{\Delta}| = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta_i|}{n} = \frac{3.62}{17} = 0.21\text{m}$$

$$\sigma_{\Delta i} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\Delta_i - \bar{\Delta} \right)^2}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{1.143488}{16}} = \pm 0.267\text{m}$$

$$\Delta_i - \sigma_{\Delta i} \leq \Delta_i \leq \Delta_i + \sigma_{\Delta i}$$

$$\Delta_i - 0.267 \leq \Delta_i \leq \Delta_i + 0.267$$

$$|\overline{D\Delta}| = \frac{\sum_{i=1}^n |D\Delta_i|}{n} = \frac{4.48}{18} = 0.25\text{m}$$

onde:

$|\overline{\Delta}|$ - é a média dos valores absolutos das discrepância considerando a ondulação do geóide total;

σ_{Δ_i} - desvio padrão de uma observação, relativo ao modelo geoidal total;

$D\Delta_i$ - é a discrepância entre pontos consecutivos;

$|\overline{D\Delta}|$ - é a média aritmética das discrepâncias entre pontos vizinhos.

Aqui, como em 6.1.1 são válidos os mesmos comentários, observando que o desvio padrão de uma observação diferiu de 3 unidades de centímetros em relação ao procedimento com o geóide local.

6.3 Considerações Relevantes

Considerando as dimensões da área envolvida ser bastante abrangente, na ordem de 16000 km², e a distribuição das estações de observação estarem na periferia da região, conseqüentemente sem pontos de apoio no interior, assim se deu preferência a escolha de um plano como modelo matemático de referência, ao invés de uma superfície quadrática que poderia causar distorções e conseqüentemente sem representatividade.

Com relação aos procedimentos da determinação dos parâmetros, os resultados obtidos em considerar a ondulação local ou total é irrelevante pois seus desvios-padrão da ordem de 23cm, apresentaram 3 centímetros de diferença entre os procedimentos.

Segundo (Denker,1993); (Seeber,1994), assumindo simplesmente a lei de propagação dos erros, em um nivelamento por GPS, a expectativa na precisão na determinação das diferenças de alturas é da ordem de 0.1m para poucos milhares de quilômetros. Esta estimativa pode ser verificada num nivelamento geodésico de 3000Km no norte da Europa.

Para pequenas distâncias, temos uma experiência interessante realizada na Escola Politécnica de São Paulo feita pelo Prof. Dr. Nicola (Netto,1993). Nesta experiência a ondulação geoidal da área variou de 0.613m a 0.619m para mais ou menos 2000 metros. A pesquisa foi desenvolvida no campo de prova estável de aproximadamente 2000m cujos resultados foram comparados com nivelamento geométrico de alta precisão e submetido as especificações do IBGE, no que concerne a aplicabilidade. Os desníveis obtidos entre a estação de referência e as demais estações, e, também as distâncias interpilares, serviram para a submete-los às especificações de precisão do IBGE (alta precisão, precisão e topográfica), e todos os seguimentos se enquadram em nivelamento topográfico de precisão ou melhor, na ordem de $8\text{mm}\sqrt{k}$ a $12\text{mm}\sqrt{k}$.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com relação ao que apresentamos nos capítulos 2 e no capítulo 3, concluímos que existe a necessidade de uma imediata diagnose da rede de nivelamento de precisão do IBGE, uma vez que a mesma se encontra em estado de deteriorização, a fim de que sejam tomadas diretrizes no sentido de viabilizar sua recuperação - entenda-se por recuperação com sendo a definição de novo tombamento, atualização dos croquis de itinerário e de localização, em virtude das modificações temporais ocorridas em decorrência do progresso, tais como: mudança nos traçados das rodovias, ferrovias, na expansão urbana, etc.; reconstrução dos marcos destruídos, remedição de trechos de nivelamento, etc. - e/ou a exploração do potencial da malha ainda existente - entenda-se por exploração do potencial como sendo a utilização do que sobrou da Rede de Nivelamento com a ocupação desses pontos para rastreamento GPS, gravimétrico, densificação de redes menores com estações implantadas em locais protegidos do vandalismo e das intempéries - objetivando de alguma maneira perpetuar a malha altimétrica de precisão do Brasil.

Com relação ao cálculo e ajustamento das medições GPS, concluímos que, apesar dos manuais do usuário indicarem procedimentos de cálculos específicos para determinados comprimentos de linhas de base, nem sempre os resultados obtidos são àqueles apregoados nos manuais. Recomendamos, sempre que possível efetuar os cálculos nas modalidades dupla diferença fixa, dupla diferença float, e tripla diferença (item 4.2) nas combinações lineares que solucione as ambigüidades mais facilmente - widelane por exemplo -, quando possível; nas combinações lineares livre dos efeitos da ionosfera, apenas com L_1 e outras mais, dependendo dos recursos dos rastreadores e dos softwares, como indica (Wübbena, 1989). E, para efetuar o ajustamento, recomendamos analisar os resultados obtidos nos cálculos sob o ponto de vista

do número de observações rejeitadas, RMS - raiz quadrada da média dos resíduos -, RDOP - diluição da precisão -, e, quando possível verificar o erro de fechamento do conjunto de linhas de base em ppm, e após estes estudos, submeter iterativamente ao ajustamento. Com relação as medições, os resultados apresentados ficaram um pouco abaixo da nossa expectativa de precisão, apresentou desvios na ordem de 20cm em altura - nossa expectativa era de desvios de 5 centímetros -, mas considerando um polígono fechado onde de cada vértice foram determinadas apenas duas linhas de base e com apenas três graus de liberdade quando fixamos as coordenadas de um ponto para efetuar o ajustamento, concluímos que foram satisfatórios.

Com relação a determinação da superfície geoidal de referência, concluímos que: tanto a superfície geoidal local definida como um plano, a partir da determinação dos parâmetros A, B e C, cuja matriz das observações são os valores de N_{loc} calculados através da expressão (5.4), como a superfície geoidal total como um plano definida a partir dos parâmetros A, B e C, cuja matriz das observações são os valores de N oriundos da simples subtração da altitude ortométrica das referências de nível com a altura elipsoidal obtidas por GPS ($N = h - H$), apresentaram resultados bem semelhantes e pode ser recomendado o procedimento que melhor convenha ao usuário, a variação entre pontos discretos de uma superfície em relação a outra é da ordem de 5cm. Particularmente, eu faria a opção pela última em virtude de que a primeira utiliza a ondulação geoidal global que, dependendo da região, foi muito pouco densificada e apresenta erro absoluto da ordem de 3m e relativo de 1cm por km (Blitzkow, et.al,1993)

Com relação as determinações das altitudes e das diferenças de nível, os resultados obtidos considerando o modelo geoidal formado pela composição das ondulações geoidais globais e as ondulações locais, divergiram dos resultados obtidos considerando o modelo geoidal total, em torno de 4cm, entre um método e outro. No entanto, esses mesmos

resultados divergiram dos valores do nivelamento geométrico determinado pelo IBGE de 23cm e 26cm respectivamente.

Considerando a abrangência da área em estudo num limite superior - mais de 15.000km² -, por outro lado considerando uma minúscula região como a experiência do Prof. Nicola (Netto,1993). O trabalho do Prof. Nicola que envolve pequenas linhas - na ordem de alguns quilômetros - executado com todos critérios técnicos de pesquisa científica, pelas especificações do IBGE, se enquadra em nivelamento de precisão, com erro permitido de $8\text{mm}\sqrt{K}$ (K em quilômetros). Enquanto que o nosso, com área bastante superior, na ordem de milhares de quilômetros quadrados, com precisão em torno de 20cm, estabelecida numa região que não possui rede de nivelamento, observando que a maior distância entre pontos da área é da ordem de 180Km e pode ser enquadrada, segundo às mesmas especificações do IBGE, um pouco abaixo do nivelamento para fins topográficos $12\text{mm}\sqrt{K}$ ($12\text{mm} \times 13.42 = 17\text{cm}$), com atenuante de não carecer agredir a natureza com abertura de picadas para os instrumentos óticos-mecânicos, óticos-eletrônicos poderem efetuar suas medições, sem considerar o erro cumulativo que esses trabalhos absorvem. Podemos recomendar estas aplicações para projetos de engenharia concernentes a uma precisão de 20cm, (apoio de campo para mapeamento fotogramétrico, teste de cartas, monitoramento de jazidas minerais à céu aberto, locação de linhas de transmissão, projetos de irrigação, implantação dutos, entre outros).

Os nossos programas podem ser utilizados para aplicações naquela região, pois os parâmetros são específicos, bastando para isso que o usuário faça o rastreamento GPS num ponto determinado, havendo necessidade de efetuar trabalho semelhante em outra região, haverá também a necessidade de determinar outros parâmetros, e para isso terá que ser definida outra rede de nivelamento, com rastreamento GPS nestas estações. Os programas

serão facilmente adaptados, adiantamos que os mesmos estão a disposição dos interessados no endereço eletrônico citado no capítulo primeiro. Uma consideração de relevante importância é que o usuário pode obter os valores dessas ondulações por simples interpolação gráfica, nos mapas do próprio texto.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRADE, J.B. Navstar GPS, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas: 63 p, 1988.
2. BLITZKOW, D.; SIMÕES, E. F. J.; CINTRA, J. P.; et al. Mapa Geoidal do Brasil - 1992 (versão preliminar), 1993.
3. BLITZKOW, D.; FAIRHEAD, D. J.; LOBIANCO, M.C. An attempt for a gravimetric Geoid in south America. In: Reunion Cientifica de Geofisica y Geodesia, 18^a., La Plata, Argentina: 1994, p. 1 - 25.
4. FILHO, P. M., A Confiabilidade das Altitudes determinadas por GPS, Fator Gis, n°. 03, Curitiba. 1993.
5. FORTES, L.P.S.; CAGNIN, I. F.; GODOY, R.A.Z.; BLITZKOW,D.; Determinação dos parâmetros de transformação entre os sistemas NWL-D, NSWC-972, WGS-84 e o SAD-69, Cadernos de Geociências. Rio de Janeiro, n.9 , p. 23-32, junho. 1993.
6. FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Azimutes, Coordenadas, Altitudes - Pontos Geodésicos de Apoio Fundamental - Estado de Piauí, v. 6. p. 109. 1981.
7. FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Azimutes, Coordenadas, Altitudes - Pontos Geodésicos de Apoio Fundamental - Estado de Pernambuco, v. 2. p. 160. 1981.
8. FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - DIRETORIA DE GEOCIÊNCIAS. Especificações e Normas Gerais para Levantamentos GPS (Versão Preliminar). Rio de Janeiro, 20 p, dez. 1992.
9. GALDINO, C. A. P. M., SANTOS, MARCONI A., CERQUEIRA, J. D. M. DE. Aplicação Metodológica dos GPS em Referências de Nível para a Densificação do Modelo de um Geóide Local. Anais do XVII Congresso Brasileiro de Cartografia. Salvador, Bahia, Brasil: 1995.
10. GEMAEL, C., A Evolução da Geodésia. Revista Brasileira de Cartografia, n. 46, p. 1-8, out. 1995.
11. GEMAEL, C., Introdução à Geodésia Física, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Curitiba: 1981.
12. GEMAEL, C., Introdução à Geodésia Geométrica, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Curitiba: 1975.
13. GEMAEL, C., Introdução ao ajustamento de observações e aplicações Geodésicas. 1 ed., Curitiba: Editora da UFPR, 319 p. 1994.

14. GEMAEL, C., Referenciais Cartesianos Utilizados em Geodésia, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Curitiba: 1981.
15. KING, R.W; et al. Surveying with Global Positioning System - GPS, Bonn, 128 p. 1985.
16. KRUEGER, C. P.; et al. Teoria do Potencial, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Curitiba: 90 p. 1994.
17. LERCH, F. J.; et al. Improvements In the Accuracy Of Goddard Earth Models (GEM), Space Geodesy to Geodynamics: Earth Dynamics. p.191-212. 1993.
18. MILBERT, D. G., GPS and Geoid90 - The new level rod, GPS Word. p.38-49. fev. 1992.
19. NETTO, N. P. et al. Nivelamento Geométrico de Precisão X GPS. A MIRA, nº47, set. p. 17-20,1995.
20. ROMÃO, V.M.C. Der Beitrag von GPS zur Bereitstellungs des Raumbezugs für geoinformationssysteme in Kartographisch WeningErschlossenen Gebieten, Hannover, 1995. p. 131. Dissertation (Doktor - Ingenieur)
21. SCHWARZ, K. P.; SIDERIS, M. G., Heights and GPS, GPS Word. p. 50-56. fev. 1993.
22. SEEBER, G., El Sistema de Posicionamento Global GPS, Berlin, 126 p, 1994.
- 23.. SEEBER, G. The Global Positioning System. In: Satellite Geodesy (Foundations, Methods and Applications), Berlin, 531 p. 1993.
24. SILVA, A. J. P. DA.; O uso do GPS nas Medições Geodésicas de Curta Distância, Curitiba, 1990. 180 p. Dissertação (Mestrado em Geodésia) - Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná.
25. SILVA, D. C. DA.; Considerações Práticas em Fotogrametria a curta distância aplicada ao levantamento de um tanque e a questão da precisão e exatidão. Curitiba, 1995. 108 p. Dissertação (Mestrado em Geodésia) - Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná.
26. TRIMBLE NAVIGATION - TRIMNET, Survey Network Software User's Manual; 266 p, 1990.
27. TRIMBLE - PLUS, GPS SURVEY Software User's Manual and Technical Reference Guide; 646 p, 1991.
28. WÜBBENA, G. The GPS Adjustment Software Package - GEONAP - Concepts and Models. IN: Fifth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning. Las Cruces, Mexico: 1989, p. 13-17.

A N E X O S

CROCI DE ITINERÁRIO E LOCALIZAÇÃO

PROGRAMA: AJUSTEL.FOR

SUBPROGRAMA: PACOTE.FOR

PROGRAMA: AJUSTEG.FOR

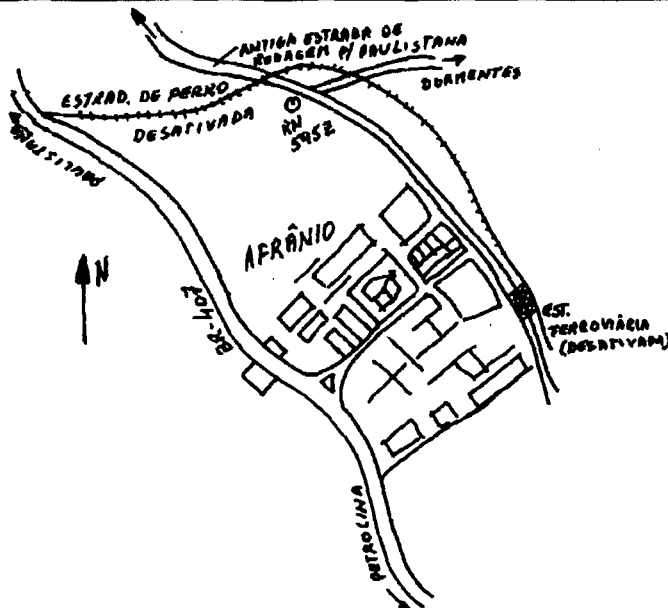
PROGRAMA: INTERLOC.FOR

PROGRAMA: INTERGL.FOR

PROGRAMA: HNLOC.FOR

PROGRAMA: HNTOT.FOR

8.1 ANEXO: CROQUI DE LOCALIZAÇÃO

CROQUI DE LOCALIZAÇÃO E ITINERÁRIO					
ESTAÇÃO	ÓRGÃO	ALTITUDE(m)	NOME GPS	DATA	
595Z	IBGE	515,4685 (*)	595Z	24/03/95	
CIDADE		DISTRITO		LOCAL	
AFRÂNIO - PE					
COORDENADAS					
WGS/84 (° ' ")		SAD/69 (° ' ")		U T M (m)	
LAT. (φ)	-08 30 17	LAT. (φ)	-08 30 16	N	9059378,548
LON. (λ)	-40 59 44	LON. (λ)	-40 59 42	E	280374,279
ALT (h)	503,36 m	ALT (h)	527,43 m	h	527,43
CROQUI					
<p>DESCRIÇÃO: Chapa metálica, intacta, cravada sobre marco de concreto troncopiramidal, a 30cm do solo.</p> <hr/> <p>LOCALIZAÇÃO: Dentro das terras do Sr. Lourival José de Macedo, 10m após a porteira principal; do lado direito.</p> <hr/> <p>ITINERÁRIO: 2.2Km além da matriz de Afrânio pela antiga estrada de rodagem Afrânio Paulistana (não confundir com a BR-407 asfaltada) 15 m da margem esquerda; 100 m aquém de um cruzamento com a estrada de ferro desativada e da estrada de rodagem para Dormentes. Informações: rua Agamenon Magalhães 104 - Centro - Afrânio.</p>					
			<p>OBS.: (*) RN ajustada pelo IBGE.</p>		

8.2 PROGRAMA QUE DETERMINA OS PARÂMETROS A,B E C CONSIDERANDO AS ONDULAÇÕES LOCAIS E GLOBAIS.

8.2.1 ANEXO: PROGRAMA FONTE “AJUSTEL.FOR”

C CALCULA OS PARAMETROS LEVANDO EM CONSIDERACAO O VALOR DO N GLOBAL

```
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
DIMENSION A(18,3),P(18,18),AT(3,18),ATP(3,18)
DIMENSION ATPA(3,3),VV(3),ATPL(3,1),XA(3,1)
DIMENSION ALA(18,1),V(18,1),VT(1,18),VTP(1,18),AX(18,1)
DIMENSION EL(18,3),ELA(18,18),AL(18,1)
DIMENSION CODPT(18),COE(18),CON(18),HGPS(18),HNIV(18),ANGL(18)
CHARACTER*4 CODPT
```

C ESCOLHA DA ENTRADA E SAIDA

```
CALL ENTRA(IN)
CALL SAIDA(IOUT)
```

C LEITURA DOS DADOS

```
READ(IN,*) NPT
DO 10 I=1,NPT
  READ(IN,15) CODPT(I),COE(I),CON(I),HGPS(I),HNIV(I),ANGL(I)
15  FORMAT(A4,1X,F10.3,1X,F11.3,1X,F6.2,1X,F8.4,1X,F5.2)
10  CONTINUE
NP=3
NE=NPT
```

C FORMACAO DA MATRIZ A

```
DO 20 I=1,NE
  A(I,1)=COE(I)
  A(I,2)=CON(I)
  A(I,3)=1.D0
20  CONTINUE
```

C FORMACAO DO VETOR L

```
DO 30 I=1,NE
  AL(I,1)=HGPS(I)-HNIV(I)-ANGL(I)
30  CONTINUE
```

C FORMACAO DA MATRIZ DOS PESOS

```
DO 35 I=1,NE
  P(I,1)=1.D0
35  CONTINUE
```

C CALCULO DO AJUSTAMENTO

```
CALL PARLN(NE,NP,AL,A,P,AT,ATP,ATPA,VV,ATPL,XA,ALA,V,VT,VTP,
1,AX,EL,ELA,IOUT)
```

C FIM DO PROGRAMA

```
END
```

8.2.2 ANEXO: BANCO DE ENTRADA DE DADOS

MODELO DO ARQUIVO DE DADOS DE ENTRADA DO PROGRAMA “AJUSTEL.FOR” QUE CALCULA OS PARÂMETROS A,B E C CONSIDERANDO AS ONDULAÇÕES GEODAIS LOCAIS E GLOBAIS.

18

335I 335208.205 8960702.867 387.94 377.0241 11.89
336B 360207.421 9004856.691 373.68 362.3034 12.74
343F 381150.833 9044160.027 391.21 378.4359 13.39
343Q 396863.607 9072605.702 431.51 417.7092 13.89
344B 415102.458 9092559.038 423.39 409.0058 14.40
802U 433543.218 9106252.679 403.85 388.7353 14.90
802C 400434.430 9120483.494 428.38 413.6000 14.48
801L 381210.406 9129040.355 468.16 453.1060 14.19
800X 361248.027 9141004.416 516.35 501.6568 13.86
594Z 332357.008 9162334.379 651.86 637.0263 13.32
594M 302686.824 9160247.931 492.23 478.5278 12.64
594D 292512.525 9145301.955 438.96 425.8663 12.38
593V 294335.178 9132244.146 458.03 444.8676 12.37
593F 279136.660 9111019.654 387.69 375.1674 11.95
595D 270532.509 9092477.676 368.35 356.2210 11.65
595Z 280374.279 9059378.548 527.43 515.4685 11.63
596T 299575.614 9024156.604 427.57 416.2283 11.75
21CS 311036.828 9007966.056 415.76 404.3680 11.85

8.2.3 ANEXO: SAÍDA DOS RESULTADOS

APRESENTA OS PARÂMETROS A, B E C, AS VARIÂNCIAS A PRIORI E A POSTERIORI, OS VALORES OBSERVADOS, OS RESPECTIVOS RESÍDUOS E OS VALORES DAS OBSERVAÇÕES AJUSTADAS.

PARÂMETROS AJUSTADOS

-0.312975449D-05 0.118006602D-04 -0.105959234D+03

VARIÂNCIA A PRIORI = 1.0

VARIÂNCIA A POSTERIORI = 0.061531884670

MATRIZ VARIÂNCIA-COVARIÂNCIA DOS PARÂMETROS:

0.13406D-11	0.54624D-15	-0.46134D-06
0.54624D-15	0.10429D-11	-0.94772D-05
-0.46134D-06	-0.94772D-05	0.86280D+02

VALORES OBSERVADOS (m)	RESÍDUOS (m)	VALORES OBSERVADOS AJUSTADOS (m)
-0.974100	-0.292044	-1.266144
-1.363400	0.540059	-0.823341
-0.615900	0.190817	-0.425083
-0.089200	-0.049383	-0.138583
-0.015800	0.055597	0.039797
0.214700	-0.071024	0.143676
0.300000	0.115231	0.415231
0.864000	-0.287626	0.576374
0.833200	-0.053165	0.780035
1.513700	-0.391535	1.122165
1.062200	0.128204	1.190404
0.713700	0.332174	1.045874
0.792400	0.093679	0.886079
0.572600	0.110584	0.683184
0.479000	0.012305	0.491305
0.331500	-0.261589	0.069911
-0.408300	0.002473	-0.405827
-0.458000	-0.174757	-0.632757

8.3 ANEXO: ROGRAMA MULTIFINALITÁRIO “PACOTE.FOR” - CONJUNTO DE SUBROTINAS PARA APLICAÇÕES DIVERSAS

```

SUBROUTINE VERSOL(A,B,I)
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
DIMENSION A(I,I),B(I)
IF(I.EQ.1) GO TO 10
IM=I-1
DO 5 K=1,I
DO 2 J=1,IM
2   B(J)=A(1,J+1)/A(1,1)
   B(I)=1./A(1,1)
DO 4 L=1,IM
DO 3 J=1,IM
3   A(L,J)=A(L+1,J+1)-A(L+1,1)*B(J)
4   A(L,I)=A(L+1,I)*B(I)
DO 5 J=1,I
5   A(I,J)=B(J)
RETURN
10  A(1,1)=1./A(1,1)
RETURN
END
C
C SUBROUTINE TRANSP(A,B,I,J)
C *****
C ** PROPOSITO: ESTA SUBROTINA CALCULA A TRANSPOSTA DA MATRIZ A.
C ** CHAMADA: CALL TRANSP(A,B,I,J).
C ** PARAMETROS:
C **      A: MATRIZ DE ENTRADA, DIM: A(I,J).
C **      B: MATRIZ TRANSPOSTA DE A, DIM: B(J,I).
C **      I: NUMERO DE LINHAS DA MATRIZ A.
C **      J: NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ A.
C ** PRECISAO: DUPLA.
C *****
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
DIMENSION A(I,J),B(J,I)
DO 1 N=1,I
DO 1 M=1,J
1   B(M,N)=A(N,M)
RETURN
END
C
C SUBROUTINE MULTIP(A,B,C,I,J,K)
C *****
C ** PROPOSITO: ESTA SUBROTINA FAZ A MULTIPLICACAO DE MATRIZES.
C ** CHAMADA: CALL MULTIP(A,B,C,I,J,K).
C ** PARAMETROS:
C **      A: MATRIZ A MULTIPLICAR, DIM A(I,J).
C **      B: MATRIZ A MULTIPLICAR, DIM B(J,K).
C **      C: MATRIZ RESULTANTE, DIM C(I,K).
C **      I: NUMERO DE LINHAS DA MATRIZ A.
C **      J: NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ A.
C **      K: NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ B.
C ** PRECISAO: DUPLA.
C *****
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
DIMENSION A(I,J),B(J,K),C(I,K)
DO 1 N=1,I
DO 1 L=1,K
C(N,L)=0.0
DO 1 M=1,J
C(N,L)=C(N,L)+A(N,M)*B(M,L)
1 CONTINUE
RETURN
END
C
C SUBROUTINE ESCALA(C,A,J,K)
C *****
C ** PROPOSITO: ESTA SUBROTINA FAZ A MULTIPLICACAO DE UM ESCALAR **
C ** POR UMA MATRIZ.
C ** CHAMADA: CALL ESCALA(C,A,J,K).

```

```

C ** PARAMETROS:
C **      C: ESCALAR A MULTIPLICADOR.
C **      A: MATRIZ A SER MULTIPLICADA, DIM A(I,J), E MATRIZ **
C **      RESULTANTE DA MULTIPLICACAO.
C **      J: NUMERO DE LINHAS DA MATRIZ A.
C **      K: NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ A.
C ** PRECISAO: DUPLA.
C ** REQUISITOS: A MATRIZ A, DE ENTRADA E PERDIDA NA MULTIPLICACAO.**
C *****
  IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
  DIMENSION A(J,K)
  DO 1 N=1,J
    DO 1 M=1,K
1    A(N,M)=C*A(N,M)
  RETURN
  END

C
SUBROUTINE ADICAO(A,B,C,I,J)
C *****
C ** PROPOSITO: ESTA SUBROTINA FAZ A ADICAO DE MATRIZES.
C ** CHAMADA: CALL ADICAO(A,B,C,I,J).
C ** PARAMETROS:
C **      A: MATRIZ A SOMAR, DIM A(I,J).
C **      B: MATRIZ A SOMAR, DIM B(I,J).
C **      C: MATRIZ RESULTANTE, DIM C(I,J).
C **      I: NUMERO DE LINHAS.
C **      J: NUMERO DE COLUNAS.
C ** PRECISAO: DUPLA.
C *****
  IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
  DIMENSION A(I,J),B(I,J),C(I,J)
  DO 1 N=1,I
    DO 1 M=1,J
1    C(N,M)=A(N,M)+B(N,M)
  RETURN
  END

C
SUBROUTINE SUBTRA(A,B,C,I,J)
C *****
C ** PROPOSITO: ESTA SUBROTINA FAZ A SUBTRACAO DE MATRIZES.
C ** CHAMADA: CALL SUBTRA(A,B,C,I,J).
C ** PARAMETROS:
C **      A: MATRIZ A SER SUBTRAIDA, DIM A(I,J).
C **      B: MATRIZ SUBTRATORA, DIM B(I,J).
C **      C: MATRIZ RESULTANTE, DIM C(I,J).
C **      I: NUMERO DE LINHAS.
C **      J: NUMERO DE COLUNAS.
C ** PRECISAO: DUPLA.
C *****
  IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
  DIMENSION A(I,J),B(I,J),C(I,J)
  DO 1 N=1,I
    DO 1 M=1,J
1    C(N,M)=A(N,M)-B(N,M)
  RETURN
  END

C
SUBROUTINE GRARAD(IG,IM,AIS,AR)
C *****
C ** PROPOSITO: TRANSFORMAR GRAU, MINUTO E SEGUNDO EM RADIANOS.
C ** CHAMADA: CALL GRARAD(IG,IM,AIS,AR).
C ** PARAMETROS:
C **      IG: PARTE DO ANGULO EM GRAUS.
C **      IM: PARTE DO ANGULO EM MINUTOS.
C **      AIS: PARTE DO ANGULO EM SEGUNDOS.
C **      AR: ANGULO EM RADIANO.
C ** PRECISAO: DUPLA.
C *****
  IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
  PI=3.14159265358979323846D0
  G=FLOAT(IG)
  AM=FLOAT(IM)

```



```

S=AIS
AR=G+AM/60.D0+S/3600.D0
AR=AR*PI/180.D0
RETURN
END

```

```

C SUBROUTINE RADGRA(AR,IG,IM,AIS)
C *****
C ** PROPOSITO: TRANSFORMAR Radiano em Graus, Minuto e Segundo. **
C ** CHAMADA: CALL RADGRA(AR,IG,IM,AIS). **
C ** PARAMETROS: **
C ** AR: Angulo em Radiano. **
C ** IG: Parte do Angulo em Graus. **
C ** IM: Parte do Angulo em Minutos. **
C ** AIS: Parte do Angulo em Segundos. **
C ** PRECISAO: DUPLA. **
C *****
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
PI=3.14159265358979323846D0
AD=180.D0*AR/PI
IG=IDINT(AD)
AUX=AD-FLOAT(IG)
AUX=AUX*60.D0
IM=IDINT(AUX)
AUX1=AUX-FLOAT(IM)
AIS=AUX1*60.D0
RETURN
END

```

```

** SUBROTINA: SAIDA. **
** PROPOSITO: ESCOLHA DA SAIDA DO RESULTADO. **
** PAREMETRO: I => NUMERO DA ESCOLHA. **
** ARQ => NOME DO ARQUIVO. **
** II => NUMERO DA UNIDADE DO ARQUIVO. **
*****
SUBROUTINE SAIDA(II)
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
CHARACTER*12 ARQ
1 WRITE(*,*) 'SAIDA DO RESULTADO: 0 => VIDEO'
WRITE(*,*) '1 => IMPRESSORA'
WRITE(*,*) '2 => ARQUIVO'
WRITE(*,3)
3 FORMAT('0','ESCOLHA SUA OPCAO...')
READ(*,*) I
IF(I.NE.0.AND.I.NE.1.AND.I.NE.2) THEN
WRITE(*,*) 'NAO EXISTE ESSA OPCAO, TENTE NOVAMENTE'
GOTO 1
ENDIF
IF(I.EQ.2) THEN
WRITE(*,4)
4 FORMAT(' ','ENTRE COM O NOME DO ARQUIVO...')
READ(*,2) ARQ
2 FORMAT(A12)
WRITE(*,5)
5 FORMAT(' ','ENTRE COM A UNIDADE DO ARQUIVO...')
READ(*,*) II
OPEN(II,FILE=ARQ,STATUS='NEW')
ELSE
IF(I.EQ.1) THEN
OPEN(I,FILE='LPT1')
II=1
ELSE
II=I
ENDIF
ENDIF
RETURN
END

```

```

** SUBROTINA: CAPA. **
** PROPOSITO: IMPRESSAO DA CAPA. **
** PARAMETROS: A => DISCIPLINA. **
** B => PROFESSOR. **
** C => NUMERO DO TP. **

```

```

**          I=> NUMERO DA UNIDADE DE SAIDA.          **
*****
SUBROUTINE CAPA(I)
CHARACTER*30 A,B,C*2

C ENTRADA DOS DADOS: DISCIPLINA, PROFESSOR E TRABALHO PRATICO

    WRITE(*,*) 'ENTRE COM A DISCIPLINA: '
    READ(*,1) A
1   FORMAT(A30)
    WRITE(*,*) 'ENTRE COM O NOME DO PROFESSOR: '
    READ(*,1) B
    WRITE(*,*) 'ENTRE COM O NUMERO DO TP: '
    READ(*,2) C
2   FORMAT(A2)
    WRITE(I,3) A,B,C
3   FORMAT('1',//,26X,'UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANA',/
$,',',25X,'DEPARTAMENTO DE GEOCIENCIAS',/,' ',25X,'CURSO DE POS-GRA
$DUACAO EM CIENCIAS GEODESICAS',/,' ',25X,'DISCIPLINA: ',A30,/,',',
$,25X,'PROF.: ',A30,/,', ',25X,'ALUNOS: MARCONI ANTÃO DOS SANTOS',//
$,//,35X,'TRABALHO PRATICO ',A2,//,32X,'CURR
$TIBA - 1990')
C   $',33X,'JUCILEI CORDINI',
    RETURN
    END

C
** SUBROTINA: ENTRA.          **
** PROPOSITO: TIPO DE ENTRADA DE DADOS.          **
** CHAMADA: CALL ENTRA(I1).          **
** PARAMETROS: I1 => INDICE DA SAIDA.          **
*****
SUBROUTINE ENTRA(I1)
CHARACTER*12 ARQ

C SELECAO DO TIPO DE ENTRADA DE DADOS

5   WRITE(*,10)
10  FORMAT('0','ENTRADA DOS DADOS: 1 => ARQUIVO')
    WRITE(*,*) '          0 => VIDEO'
    READ(*,*) ICOND
    IF(ICOND.NE.1.AND.ICOND.NE.0) THEN
        WRITE(*,*) 'NAO EXISTE ESTA OPCAO, TENTE NOVAMENTE'
        GOTO 5
    ELSE
        IF(ICOND.EQ.1) THEN
            WRITE(*,15)
15     FORMAT(' ','ENTRE COM O NOME DO ARQUIVO... ')
            READ(*,20) ARQ
20     FORMAT(A12)
            OPEN(20,FILE=ARQ)
            I1=20
        ELSE
            I1=0
        ENDIF
    ENDIF
    RETURN
    END

SUBROUTINE MODVET(V,XMODV,N)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
DIMENSION V(N)
SOMA=0.D0
DO 10 I=1,N
    SOMA=SOMA+V(I)**2
10  CONTINUE
XMODV=DSQRT(SOMA)
RETURN
END

SUBROUTINE PROESC(V1,V2,N,ES)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
DIMENSION V1(N),V2(N)
ES=0.D0

```

```

      DO 10 I=1,N
        ES=ES+V1(I)*V2(I)
10    CONTINUE
      RETURN
      END

```

```

      SUBROUTINE VERSOR(V,XMODV,N)
      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
      DIMENSION V(N)
      DO 10 I=1,N
        V(I)=V(I)/XMODV
10    CONTINUE
      RETURN
      END

```

```

      SUBROUTINE ROT1 (A,P,N)
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
      DIMENSION A(N,N)

```

```

c  Objetivo:
c      Calculo dos elementos da matriz de rotacao em torno do
c      eixo 1
c  Parametros:
c      A - matriz de rotacao
c      P - angulo de rotacao
c      N - ordem da matriz

```

```

      A(1,1) = 1.D0
      A(1,2) = 0.D0
      A(1,3) = 0.D0
      A(2,1) = 0.D0
      A(2,2) = DCOS(P)
      A(2,3) = DSIN(P)
      A(3,1) = 0.D0
      A(3,2) = -DSIN(P)
      A(3,3) = DCOS(P)
      RETURN
      END

```

```

      SUBROUTINE ROT2 (A,P,N)
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
      DIMENSION A(N,N)

```

```

c  Objetivo:
c      Calculo dos elementos da matriz de rotacao em torno do
c      eixo 2
c  Parametros:
c      A - matriz de rotacao
c      P - angulo de rotacao
c      N - ordem da matriz

```

```

      A(1,1) = DCOS(P)
      A(1,2) = 0.D0
      A(1,3) = -DSIN(P)
      A(2,1) = 0.D0
      A(2,2) = 1.D0
      A(2,3) = 0.D0
      A(3,1) = DSIN(P)
      A(3,2) = 0.D0
      A(3,3) = DCOS(P)
      RETURN
      END

```

```

      SUBROUTINE ROT3 (A,P,N)
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
      DIMENSION A(N,N)

```

```

c  Objetivo:
c      Calculo dos elementos da matriz de rotacao em torno do
c      eixo 3
c  Parametros:
c      A - matriz de rotacao
c      P - angulo de rotacao

```

```

20  CONTINUE
    RETURN
    END

```

```

*****
** SUBROTINA: SIGMA.                                **
** PROPOSITO: CALCULO DO VTPV.                      **
** PARAMETROS: V=> VETOR DOS RESIDUOS.              **
**             P=> VETOR DOS PESOS.                  **
**             NE=> NUMERO DE EQUACOES.              **
** PRECISAO: DUPLA.                                **
*****

```

```

SUBROUTINE SIG(V,P,VTPV,NE)
  IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
  DIMENSION V(NE,1),P(NE)
  VTPV=0.D0
  DO 10 J=1,NE
    VTPV=VTPV+V(J,1)*V(J,1)*P(J)
10  CONTINUE
  RETURN
  END

```

```

C=====
*****
** SUBROUTINA : DANISH.                                **
** PROPOSITO: CALCULO DA MATRIZ DOS PESOS EM FUNCAO DOS RESIDUOS E **
**             DO DESVIO PADRAO DAS OBSERVACOES.      **
** PARAMETROS: NE => NUMEROS DE EQUACOES.            **
**             V => RESIDUOS.                          **
**             P => MATRIZ DOS PESOS.                  **
**             DEVOB => DESVIO PADRAO DAS OBSERVACOES. **
** PRECISAO: DUPLA.                                **
*****

```

```

SUBROUTINE DANISH(NE,V,P,SIGMA,II)
  IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
  DIMENSION V(NE,1),P(NE,NE)
  A=2.D0*SIGMA
  DO 10 I=1,NE
    IF(DABS(V(I,1)).GE.A) THEN
      P(I,I)=DEXP(-(V(I,1)/A)**2)
    ELSE
      P(I,I)=1.D0
    ENDIF
10  CONTINUE
  WRITE(II,20)
20  FORMAT('0',10X,'NOVA MATRIZ PESO',/)
  DO 30 I=1,NE
    WRITE(II,25) P(I,I)
25  FORMAT(' ',5X,F10.6)
30  CONTINUE
  RETURN
  END

```

```

C=====
C
C PARAMETRICO LINEAR
C=====
SUBROUTINE PARLN(NE,NP,AL,A,P,AT,ATP,ATPA,VV,ATPL,XA,ALA,V,VT,VTP
1,AX,EL,ELA,II)
  IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
  DIMENSION A(NE,NP),P(NE,NE),AT(NP,NE),ATP(NP,NE)
  DIMENSION ATPA(NP,NP),VV(NP),ATPL(NP,1),XA(NP,1)
  DIMENSION ALA(NE,1),V(NE,1),VT(1,NE),VTP(1,NE),AX(NE,1)
  DIMENSION EL(NE,NP),ELA(NE,NE),AL(NE,1)

```

```

C=====
C RESOLUCAO DE X = (ATPA)**-1 * APTL
C=====
CALL TRANSP(A,AT,NE,NP)
CALL MULTIP(AT,P,ATP,NP,NE,NE)
CALL MULTIP(ATP,A,ATPA,NP,NE,NP)
DO 130 I=1,NP
  VV(I)=0.D0
130 CONTINUE

```

```

      CALL VERSOL(ATPA,VV,NP)
      CALL MULTIP(ATP,AL,ATPL,NP,NE,1)
      CALL MULTIP(ATPA,ATPL,XA,NP,NP,1)
      WRITE(II,82)
82  FORMAT('0',10X,60('='),/,30X,'PARAMETROS AJUSTADOS',/,10X,60('='),
      1/)
      WRITE(II,78) (XA(I,1),I=1,NP)
78  FORMAT(' ',3(1X,D18.9))
C
C DETERMINAR A PRECISAO DOS PARAMETROS
C
C CALCULO DA MATRIZ VARIANCIA-COVARIANCIA
C
C EL=SIGMA * (ATPA)**-1
C SIGMA=VTPV/(NE-NP)
C V=AX-LB
C
      CALL MULTIP(A,XA,AX,NE,NP,1)
      DO 95 I=1,NE
        V(I,1)=AX(I,1)-AL(I,1)
95  CONTINUE
C
      CALL TRANSP(V,VT,NE,1)
      CALL MULTIP(VT,P,VTP,1,NE,NE)
      CALL MULTIP(VTP,V,VTPV,1,NE,1)
      SIGMA=VTPV/(NE-NP)
      CALL ESCALA(SIGMA,ATPA,NP,NP)

C VALORES AJUSTADOS OBSERVADOS

      CALL ADICAO(AL,V,ALA,NE,1)
C
      WRITE(II,85) SIGMA
85  FORMAT('0',10X,'VARIANCIA A PRIORI = 1.0',/,',',10X,'VARIANCIA A P
      IOSTERIORI = ',F15.12)
      WRITE(II,84)
84  FORMAT('0',10X,'MATRIZ VARIANCIA-COVARIANCIA DOS PARAMETROS:',/)
      DO 110 I=1,NP
        WRITE(II,109) (ATPA(I,J),J=1,NP)
109  FORMAT(' ',13X,3(D15.5,2X))
110  CONTINUE
      WRITE(II,86)
86  FORMAT('0',9X,'VALORES OBSERVADOS',13X,'RESIDUOS',5X,'VALORES OBSE
      RVADOS AJUSTADOS',/)
      DO 105 I=1,NE
        WRITE(II,87) AL(I,1),V(I,1),ALA(I,1)
87  FORMAT(' ',13X,F11.6,9X,F11.6,13X,F11.6)
105  CONTINUE
C
C MATRIZ VARIANCIA-COVARIANCIA DOS VALORES OBSERVADOS AJUSTADOS
C
C ELA=SIGMA*A(ATPA)AT
C
      CALL MULTIP(A,ATPA,EL,NE,NP,NP)
      CALL MULTIP(EL,AT,ELA,NE,NP,NE)
C
      WRITE(II,88)
C88  FORMAT('0',10X,'MATRIZ VARIANCIA-COV. DOS VAL. OBSERVADOS AJUSTADO
C 1S',/)
C  DO 120 I=1,NE
C    WRITE(II,89) (ELA(I,J),J=1,NE)
C89  FORMAT(' ',5X,18(D10.5,1X))
C120  CONTINUE
      RETURN
      END
C
C
SUBROUTINE PARINT(NE,NP,CRICON,X0,ALB,AL,A,P,AT,ATP,
IATPA,VV,ATPL,X,XA,ALA,V,VT,VTP,AX,EL,ELA,II,*)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
DIMENSION X0(NP,1),ALB(NE,1),AL(NE,1)
DIMENSION A(NE,NP),P(NE,NE),AT(NP,NE),ATP(NP,NE)

```

c N - ordem da matriz

```
A(1,1) = DCOS(P)
A(1,2) = DSIN(P)
A(1,3) = 0.D0
A(2,1) = -DSIN(P)
A(2,2) = DCOS(P)
A(2,3) = 0.D0
A(3,1) = 0.D0
A(3,2) = 0.D0
A(3,3) = 1.D0
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE EXIT(II,I1)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
CLOSE(II)
CLOSE(I1)
RETURN
END
```

C

```
*****
** SUBROTINA: MONTN                               **
** PROPOSITO: MONTAGEM DA MATRIZ N.                **
** PARAMETROS: A=> MATRIZ DAS DERIVADAS PARCIAS COM RELACAO AOS PARA-**
** METROS.                                           **
** B=> VETOR DOS PESOS.                             **
** C=> MATRIZ N.                                     **
** NP=> NUMERO DE PARAMETROS.                       **
** NE=> NUMERO DE EQUACOES.                         **
** PRECISAO: DUPLA.                                **
*****
```

```
SUBROUTINE MONTN(A,B,C,NP,NE)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
DIMENSION A(NE,NP),B(NE),C(NP,NP)
DO 30 K=1,NP
  DO 20 J=1,NP
    C(K,J)=0.D0
    DO 10 I=1,NE
      IF(K.GT.J) THEN
        C(K,J)=C(J,K)
      ELSE
        C(K,J)=C(K,J)+A(I,K)*B(I)*A(I,J)
      ENDIF
    CONTINUE
  CONTINUE
CONTINUE
RETURN
END
```

C

```
*****
** SUBROTINA: MONTU.                               **
** PROPOSITO: MONTAGEM DA MATRIZ U.                **
** PARAMETROS: A=> MATRIZ DAS DERIVADAS PARCIAS COM RELACAO AOS PARA-**
** METROS.                                           **
** B=> VETOR DOS PESOS.                             **
** C=> VETOR L.                                     **
** D=> MATRIZ U.                                     **
** NP=> NUMERO DE PARAMETROS.                       **
** NE=> NUMERO DE EQUACOES.                         **
** PRECISAO: DUPLA.                                **
*****
```

```
SUBROUTINE MONTU(A,B,C,D,NP,NE)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
DIMENSION A(NE,NP),B(NE),C(NE,1),D(NP,1)
DO 20 K=1,NP
  D(K,1)=0.D0
  DO 10 I=1,NE
    D(K,1)=D(K,1)+A(I,K)*B(I)*C(I,1)
  CONTINUE
CONTINUE
```

```

CALL MULTIP(A,X,AX,NE,NP,1)
CALL ADICAO(AX,AL,V,NE,1)
C
CALL TRANSP(V,VT,NE,1)
CALL MULTIP(VT,P,VTP,1,NE,NE)
CALL MULTIP(VTP,V,VTPV,1,NE,1)
SIGMA=VTPV/(NE-NP)
CALL ESCALA(SIGMA,ATPA,NP,NP)

C VALORES AJUSTADOS OBSERVADOS
CALL ADICAO(ALB,V,ALA,NE,1)
C
WRITE(II,85) SIGMA
85  FORMAT('0',10X,'VARIANCIA A PRIORI = 1.0',/,',',10X,'VARIANCIA A P
10STERIORI = ',F15.12)
WRITE(II,84)
84  FORMAT('0',10X,'MATRIZ VARIANCIA-COVARIANCIA DOS PARAMETROS:',/)
DO 110 I=1,NP
WRITE(II,109) (ATPA(I,J),J=1,NP)
109  FORMAT(' ',13X,3(F15.5,2X))
110  CONTINUE
WRITE(II,86)
86  FORMAT('0',9X,'VALORES OBSERVADOS',13X,'RESIDUOS',5X,'VALORES OBSE
1RVADOS AJUSTADOS',/)
DO 105 I=1,NE
WRITE(II,87) ALB(I,1),V(I,1),ALA(I,1)
87  FORMAT(' ',13X,F11.6,9X,F11.6,13X,F11.6)
105  CONTINUE
C
C MATRIZ VARIANCIA-COVARIANCIA DOS VALORES OBSERVADOS AJUSTADOS
C
C ELA=SIGMA*A(ATPA)AT
C
C
CALL MULTIP(A,ATPA,EL,NE,NP,NP)
CALL MULTIP(EL,AT,ELA,NE,NP,NE)
C
WRITE(II,88)
88  FORMAT('0',10X,'MATRIZ VARIANCIA-COV. DOS VAL. OBSERVADOS AJUSTADO
1S',/)
DO 120 I=1,NE
WRITE(II,89) (ELA(I,J),J=1,NE)
89  FORMAT(' ',13X,18(F12.5,2X))
120  CONTINUE
RETURN
END

```

```

    DIMENSION ATPA(NP,NP),VV(NP),ATPL(NP,1),X(NP,1),XA(NP,1)
    DIMENSION ALA(NE,1),V(NE,1),VT(1,NE),VTP(1,NE),AX(NE,1)
    DIMENSION EL(NE,NP),ELA(NE,NE)
C =====
    CALL TRANSP(A,AT,NE,NP)
    CALL MULTIP(AT,P,ATP,NP,NE,NE)
    CALL MULTIP(ATP,A,ATPA,NP,NE,NP)
    DO 130 I=1,NP
        VV(I)=0.D0
130  CONTINUE
    CALL VERSOL(ATPA,VV,NP)
    CALL MULTIP(ATP,AL,ATPL,NP,NE,1)
    CALL MULTIP(ATPA,ATPL,X,NP,NP,1)

    E=-1.D0
    CALL ESCALA(E,X,NP,1)

C =====
C
C LIMITAR O NUMERO DE ITERACOES PARA EVITAR UM LOOPING
C
C =====
    INT=INT+1
    IF(INT.LT.20) GOTO 40
    WRITE(I,70)
70  FORMAT('0',10X,'NAO CONVERGE COM 10 ITERACOES')
    STOP
40  CONTINUE
C =====
C COMPARA OS INCREMENTOS PARA DETERMINAR A CONVERGENCIA
C =====
    DO 50 I=1,NP
        IF(DABS(X(I,1)-CRICON)) 50,50,60
50  CONTINUE
    GOTO 100
60  DO 90 J=1,NP
C =====
C O VALOR AJUSTADO E IGUAL AO INICIAL + O INCREMENTO
C =====
    XA(J,1)=X0(J,1)+X(J,1)
C =====
C SE A CONVERGENCIA AINDA NAO E A DESEJADA, IGUALAM-SE OS VALORES INI-
C CIAIS AOS VALORES JA AJUSTADOS, CALCULA-SE NOVAMENTE A MATRIZ "A" E
C O VETOR "L" PARA ESSES NOVOS VALORES INICIAIS E REPETE-SE O PROCESSO
C ATE OBTENHA OS VALORES DE CONVERGENCIA DESEJADOS OU O PROGRAMA PARA
C POR LIMITE DE ITERACOES, PREVIAMENTE FIXADO.
C =====
    X0(J,1)=XA(J,1)
90  CONTINUE
    WRITE(I,76) INT
76  FORMAT('0',30('*'),' ITERACAO: ',I2,1X,30('*'),/)
    RETURN 1

100 CONTINUE
C =====
    WRITE(I,82)
82  FORMAT('0',10X,60('='),/,30X,'PARAMETROS AJUSTADOS',/,10X,60('='),
1/)
    WRITE(I,78) (XA(I,1),I=1,NP)
78  FORMAT(' ',13(1X,F18.9))
    WRITE(I,74) CRICON,INT-1
74  FORMAT('0',10X,'CRITERIO DE CONVERGENCIA... ',F9.5/, '0',10X,
1'NUMERO DE ITERACOES ATE CONVERGIR... ',I2)
C =====
C DETERMINAR A PRECISAO DOS PARAMETROS
C
C CALCULO DA MATRIZ VARIANCIA-COVARIANCIA
C
C EL=SIGMA * (ATPA)**-1
C SIGMA=VTPV/(NE-NP)
C V=AX+L  L=L0-LB  V=LA-LB
C
C =====

```


8.4 PROGRAMA QUE DETERMINA OS PARÂMETROS A,B E C CONSIDERANDO A ONDULAÇÃO “N” OBTIDA DIRETAMENTE DA RELAÇÃO: $N = h_{GPS} - H_{IBGE}$

8.4.1 ANEXO - PROGRAMA FONTE “AJUSTEG.FOR”

C CALCULA OS PARAMETROS SEM LEVAR EM CONSIDERAR O N GLOBAL

```
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
DIMENSION A(18,3),P(18,18),AT(3,18),ATP(3,18)
DIMENSION ATPA(3,3),VV(3),ATPL(3,1),XA(3,1)
DIMENSION ALA(18,1),V(18,1),VT(1,18),VTP(1,18),AX(18,1)
DIMENSION EL(18,3),ELA(18,18),AL(18,1)
DIMENSION CODPT(18),COE(18),CON(18),HGPS(18),HNIV(18),ANGL(18)
CHARACTER*4 CODPT
```

C ESCOLHA DA ENTRADA E SAIDA

```
CALL ENTRA(IN)
CALL SAIDA(IOUT)
```

C LEITURA DOS DADOS

```
READ(IN,*) NPT
DO 10 I=1,NPT
  READ(IN,15) CODPT(I),COE(I),CON(I),HGPS(I),HNIV(I)
15  FORMAT(A4,1X,F10.3,1X,F11.3,1X,F6.2,1X,F8.4,1X,F5.2)
10  CONTINUE
  NP=3
  NE=NPT
```

C FORMACAO DA MATRIZ A

```
DO 20 I=1,NE
  A(I,1)=COE(I)
  A(I,2)=CON(I)
  A(I,3)=1.D0
20  CONTINUE
```

C FORMACAO DO VETOR L

```
DO 30 I=1,NE
  AL(I,1)=HGPS(I)-HNIV(I)
30  CONTINUE
```

C FORMACAO DA MATRIZ DOS PESOS

```
DO 35 I=1,NE
  P(I,I)=1.D0
35  CONTINUE
```

C CALCULO DO AJUSTAMENTO

```
CALL PARLN(NE,NP,AL,A,P,AT,ATP,ATPA,VV,ATPL,XA,ALA,V,VT,VTP,
1,AX,EL,ELA,IOUT)
```

C FIM DO PROGRAMA

```
END
```

8.4.2 ANEXO: BANCO DE ENTRADA DE DADOS

MODELO DO ARQUIVO DE DADOS DE ENTRADA DO PROGRAMA AJUSTEG
QUE CALCULA OS PARÂMETROS A, B e C CONSIDERANDO A ONDULAÇÃO N
OBTIDA DIRETAMENTE DA RELAÇÃO $(N = h_{GPS} - H_{BGE})$

18

335I 335208.205 8960702.867 387.94 377.0241
336B 360207.421 9004856.691 373.68 362.3034
343F 381150.833 9044160.027 391.21 378.4359
343Q 396863.607 9072605.702 431.51 417.7092
344B 415102.458 9092559.038 423.39 409.0058
802U 433543.218 9106252.679 403.85 388.7353
802C 400434.430 9120483.494 428.38 413.6000
801L 381210.406 9129040.355 468.16 453.1060
800X 361248.027 9141004.416 516.35 501.6568
594Z 332357.008 9162334.379 651.86 637.0263
594M 302686.824 9160247.931 492.23 478.5278
594D 292512.525 9145301.955 438.96 425.8663
593V 294335.178 9132244.146 458.03 444.8676
593F 279136.660 9111019.654 387.69 375.1674
595D 270532.509 9092477.676 368.35 356.2210
595Z 280374.279 9059378.548 527.43 515.4685
596T 299575.614 9024156.604 427.57 416.2283
21CS 311036.828 9007966.056 415.76 404.3680

8.4.3 ANEXO: SAÍDA DOS RESULTADOS

APRESENTA OS PARÂMETROS A,B E C, AS VARIÂNCIAS A PRIORI E A POSTERIORI, OS VALORES OBSERVADOS, OS RESPECTIVOS RESÍDUOS E OS VALORES DAS OBSERVAÇÕES AJUSTADAS

PARÂMETROS AJUSTADOS

0.164627819D-04 0.191003091D-04 -0.166001108D+03

VARIÂNCIA A PRIORI = 1.0

VARIÂNCIA A POSTERIORI = 0.076365587699

MATRIZ VARIÂNCIA-COVARIÂNCIA DOS PARÂMETROS:

0.16638D-11	0.67793D-15	-0.57256D-06
0.67793D-15	0.12943D-11	-0.11762D-04
-0.57256D-06	-0.11762D-04	0.10708D+03

VALORES OBSERVADOS (m)	RESÍDUOS (m)	VALORES OBSERVADOS AJUSTADOS (m)
10.915900	-0.246354	10.669546
11.376600	0.547854	11.924454
12.774100	0.245847	13.019947
13.800800	0.021144	13.821944
14.384200	0.119121	14.503321
15.114700	-0.046240	15.068460
14.780000	0.015210	14.795210
15.054000	-0.411832	14.642168
14.693200	-0.151151	14.542049
14.833700	-0.359869	14.473831
13.702200	0.243326	13.945526
13.093700	0.398856	13.492556
13.162400	0.110753	13.273153
12.522600	0.094949	12.617549
12.129000	-0.007257	12.121743
11.961500	-0.309937	11.651563
11.341700	-0.046780	11.294920
11.392000	-0.217641	11.174359

8.5 ANEXO: PROGRAMA INTERPOLADOR "INTERLOC.FOR"

```
C      NOME DO PROGRAMA: INTERLOC.FOR
C
C      INTERPOLA A ONDULACAO GEOIDAL LOCAL "Nloc" A PARTIR
C      DOS PARAMETROS A,B e C e AS COORDENADAS UTM DO PONTO
C
C
C      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
C      DIMENSION CODPT(50),COE(50),CON(50),HGPS(50),ANGL(50)
C      CHARACTER*4 CODPT

C TIPO DE ENTRADA E SAIDA

      CALL ENTRA(IN)
      CALL SAIDA(IOUT)

C LEITURA DO NUMERO DE PONTOS E DAS COORD. DOS PONTOS

      READ(IN,*) NPT
      DO 10 I=1,NPT
C      READ(IN,15) CODPT(I),COE(I),CON(I),HGPS(I),ANGL(I)
          READ(IN,15) CODPT(I),COE(I),CON(I)
          FORMAT(A4,1X,F10.3,1X,F11.3)
C15  FORMAT(A4,1X,F10.3,1X,F11.3,1X,F6.2,1X,F5.2)
10  CONTINUE

C PARAMETROS DA TRANSFORMACAO

      A=-0.312975449D-05
      B=0.118006602D-04
      C=-0.105959234D+03

C CALCULO DA ALTURA ORTOMETRICA (NAO CONSIDERAR)

      WRITE(IOUT,25)
C25  FORMAT('0',5X,'RELACAO DAS COORD. E ALTURAS DOS PONTO',/,',',2X,
C      1'PONTO',5X,'COORD. E',5X,'COORD. N',5X,'ALT. GPS',5X,'ALT. NIV.',
C      25X,'N Glo.',5X,'N Loc.',/)
25  FORMAT('0',5X,'RELACAO DAS ONDULACOES GEOIDAIS LOCAIS',/,',',2X,
1'PONTO',5X,'COORD. E',5X,'COORD. N', 5X,'N-LOCAL',/)

      DO 30 I=1,NPT

          ANLOC=A*COE(I)+B*CON(I)+C
C      HNIV=HGPS(I)-ANLOC-ANGL(I)
C      WRITE(IOUT,35) CODPT(I),COE(I),CON(I),HGPS(I),HNIV,ANGL(I),ANLOC
          WRITE(IOUT,35) CODPT(I),COE(I),CON(I),ANLOC
35  FORMAT(A4,3X,F10.3,3X,F11.3,3X,F8.4
C35  FORMAT(A4,3X,F10.3,3X,F11.3,3X,F8.4,3X,F8.4,3X,F6.2,3X,F8.4)
30  CONTINUE

      END
```

8.6 ANEXO: PROGRAMA INTERPOLADOR "INTERGL.FOR"

```
C      NOME DO PROGRAMA: INTERGL.FOR
C
C      DETERMINA A ONDULACAO GEOIDAL "N-TOTAL" A PARTIR DOS
C      PARAMETROS A, B e C OBTIDOS DIRETAMENTE DO GPS E NI-
C      VELAMENTO.
C
C      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
C      DIMENSION CODPT(50),COE(50),CON(50),HGPS(50),ANGL(50)
C      CHARACTER*4 CODPT

C TIPO DE ENTRADA E SAIDA

      CALL ENTRA(IN)
      CALL SAIDA(IOUT)

C LEITURA DO NUMERO DE PONTOS E DAS COORD. DOS PONTOS

      READ(IN,*) NPT
      DO 10 I=1,NPT
C      READ(IN,15) CODPT(I),COE(I),CON(I),HGPS(I),ANGL(I)
      READ9IN,15) CODPT(I),COE(I),CON(I)
15      FORMAT(A4,1X,CODPT(I),COE(I),CON(I)
C15  FORMAT(A4,1X,F10.3,1X,F11.3,1X,F6.2,1X,F5.2)
10  CONTINUE

C PARAMETROS DA TRANSFORMACAO

      A=0.164227819D-04
      B=0.191003091D-04
      C=-0.166001108D+03

C CALCULO DA ALTURA ORTOMETRICA (NAO CONSIDERAR)

      WRITE(IOUT,25)
C25  FORMAT('0',5X,'RELACAO DAS COORD. E ALTURAS DOS PONTO',/,',',2X,
C      1'PONTO',5X,'COORD. E',5X,'COORD. N',5X,'ALT. GPS',5X,'ALT. NIV.',
C      25X,'N Loc.',/)
      FORMAT('0',5X, 'RELACAO DAS ONDULACOES GEOIDAIS TOTAIS',/,',',2X,
1'PONTO',5X,'COORD. E',5X,'COORD. N',5X,'N-TOTAL',/)

      DO 30 I=1,NPT

      AN=A*COE(I)+B*CON(I)+C
C      HNIV=HGPS(I)-AN
      WRITE(IOUT,35) CODPT(I),COE(I),CON(I),AN
35  FORMAT(A4,3X,F10.3,3X,F11.3,3X,F8.4)
30  CONTINUE
      END
```

8.7 ANEXO: PROGRAMA “HNLOC.FOR” QUE DETERMINA A ALTITUDE DE UM PONTO E A DIFERENÇA DE NÍVEL, CONSIDERANDO AS NULAÇÕES GLOBAIS E LOCAIS.

```

C      NOME DO PROGRAMA: HNLOC.FOR
C
C      DETERMINA A ALTURA ORTOMETRICA E      CONSIDERANDO AS
C      ONDULACOES GEOIDAIAS LOCAIS E GLOBAIS
C
C
      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
      DIMENSION CODPT(50),COE(50),CON(50),HGPS(50),ANGL(50)
      CHARACTER*4 CODPT

C TIPO DE ENTRADA E SAIDA

      CALL ENTRA(IN)
      CALL SAIDA(OUT)

C LEITURA DO NUMERO DE PONTOS E DAS COORD. DOS PONTOS
      READ(IN,*) NPT
      READ(IN,1) IDENA
      FORMAT(A4)
1      READ(IN,*) COEA,CONA,HNA,HGPSA,ANGLA

      DO 10 I=1,NPT
      READ(IN,15) CODPT(I),COE(I),CON(I),HGPS(I),ANGL(I)
15  FORMAT(A4,1X,F10.3,1X,F11.3,1X,F6.2,1X,F5.2)
10  CONTINUE

C PARAMETROS DA TRANSFORMACAO
      A=-0.312975449D-05
      B=0.118006602D-04
      C=-0.105959234D+03

C      A=-0.312975449D-05
C      B=0.118006602D-04
C      C=-0.105959234D+03

C CALCULO DA ALTURA ORTOMETRICA

      DO 30 I=1,NPT

      ANLOCA=A*COE(I)+B*CON(I)+C
      WRITE(OUT,2)
2      FORMAT('0',5X,'DADOS DO PONTO DE REFERENCIA')
      WRITE(OUT,5) IDENA,COEA,CONA,HNA,HGPSA,ANGLA,ANLOC
5      FORMAT(' ',A4,2X,6(F15.4,2X))
      WRITE(OUT,25)
25     FORMAT('0',5X,'RELACAO DAS ALTURAS E DIFERENCA DE NIVEL')
      WRITE(OUT,26)
26     FORMAT(' ',5X,'IDENT',2X,'COORD. E',2X,'COORD. N',2X,'Nloc',
12X,'Ngl',2X,'ALTURA',2X,'DELTA')

      DO 30 I=1,NPT
      ANLOCB=A*COE(I)+B*CON(I)+C
      HNB=HNA+(HGPS(I)-HGPSA)-(ANLOCB-ANLOCA)-(ANGL(I)-ANGLA)
      DELTA=HNB-HNA

      WRITE(OUT,35) CODPT(I),COE(I),CON(I),ANLOCB,ANGL(I),HNB,DELTA
35  FORMAT(A4,3X,F10.3,3X,F11.3,3X,F8.4,3X,F8.4,3X,F6.2,3X,F8.4)
30  CONTINUE
      END

```

8.8 ANEXO: PROGRAMA “HNTOT.FOR” DETERMINA A ALTURA E DIFERENÇA DE NÍVEL SEM AS CONSIDERAÇÕES DO Nloc E Ngl.

```
C      NOME DO PROGRAMA: HNTOT.FOR
C
C      DETERMINA A ALTURA ORTOMETRICA E      CONSIDERANDO AS
C      ONDULACOES GEOIDAIAS OBTIDAS DIRETMENTENTE DOS PARAMETROS
C      A, B E C DETERMINADOS COM N=hGPS-Hibge
C
C
C      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
C      DIMENSION CODPT(50),COE(50),CON(50),HGPS(50)
C      CHARACTER*4 CODPT

C TIPO DE ENTRADA E SAIDA

      CALL ENTRA(IN)
      CALL SAIDA(IOUT)

C LEITURA DO NUMERO DE PONTOS E DAS COORD. DOS PONTOS
      READ(IN,*) NPT
      READ(IN,1) IDENA
1      FORMAT(A4)
      READ(IN,*) COEA,CONA,HNA,HGPSA

      DO 10 I=1,NPT
      READ(IN,15) CODPT(I),COE(I),CON(I),HGPS(I)
15  FORMAT(A4,1X,F10.3,1X,F11.3,1X,F6.2)
10  CONTINUE

C PARAMETROS DA TRANSFORMACAO

      A=-0.312975449D-05
      B=0.118006602D-04
      C=-0.105959234D+03

C CALCULO DA ALTURA ORTOMETRICA
C
C      ONDULACAO TOTAL DE A

      DO 30 I=1,NPT

      ANTA=A*COE(I)+B*CON(I)+C
      WRITE(IOUT,2)
2      FORMAT('0',5X,'DADOS DO PONTO DE REFERENCIA')
      WRITE(IOUT,5) IDENA,COEA,CONA,HNA,HGPSA,ANTA
5      FORMAT(' ',A4,2X,5(F15.4,2X))
      WRITE(IOUT,25)
25     FORMAT('0',5X,'RELACAO DAS ALTURAS E DIFERENCA DE NIVEL')
      WRITE(IOUT,26)
26     FORMAT(' ',5X,'IDENT',2X,'COORD. E',2X,'COORD. N',2X,'NTOT',
12X,'HNIV',2X,'DELTA')

      DO 30 I=1,NPT
      ANTB=A*COE(I)+B*CON(I)+C
      HNB=HNA+(HGPS(I)-HGPSA)-(ANTB-ANTA)
      DELTA=HNB-HNA

      WRITE(IOUT,35) CODPT(I),COE(I),CON(I),ANTB,HNB,DELTA
35  FORMAT(A4,3X,F10.3,3X,F11.3,3X,F8.4,3X,F8.4,3X,F8.4)
30  CONTINUE
      END
```